ОПОЛЗНИ И СЕЛИ



ОРГАНИЗАЦИЯ
ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ
ПО ВОПРОСАМ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КУЛЬТУРЫ

ПРОГРАММА ОРГАНИЗАЦИИ
ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ
ПО ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЕ



ОПОЛЗНИ И СЕЛИ

В ДВУХ ТОМАХ

Том 1



ЦЕНТР МЕЖДУНАРОДНЫХ ПРОЕКТОВ ГКНТ

МОСКВА 1984

Двухтомный труд "Оползни и сели подготовлен коллективом авторов в соответствии с программой работ проекта ЮНЕП/ЮНЕСКО/СССР "Охрана литосферы как компонента окружающей среды" в рамках деятельности ЦМП ГКНТ СССР

Редакционная коллегия:

Главный редактор Е.А. Козловский

Члены редколлегии: М. Арну (Франция), В.В. Кюнтцель (СССР), Ж. Пило (Франция), И.И. Снежко (ЮНЕСКО), Л.В. Соколов (СССР), К.И. Сычев (зам. главного редактора, СССР), М. Фукуока (Япония), Р. Хатчинсон (Великобритания), Р. Шустер (США)

Ответственный редактор русского текста А.И. Шеко

© ЮНЕП/ЮНЕСКО
Москва 1984

Подготовлено к печати Отделом охраны окружающей среды ВИНИТИ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Литосфера – это верхняя твердая оболочка Земли, которую человек использует для своего обитания и получения сырьевых и энергетических ресурсов. В связи с прогрессом техники и увеличением населения на Земле возрастают воздействия на литосферу, которые могут вызвать активизацию неблагоприятных геологических процессов, в том числе, оползней и селей. Развитие этих процессов при определенном сочетании природных условий может принять катастрофический характер.

На протяжении длительного времени развития человечества геологические процессы, проявлявшиеся как стихийные бедствия, и нередко приводившие к большим экономическим убыткам и человеческим жертвам, считались естественными и неизбежными явлениями, не зависящими от воли и влияния человека. Изучению литосферы, как среды обитания человека, и прогнозу ее изменений под влиянием хозяйственной деятельности до последнего времени не уделялось серьезного внимания. Однако теперь очевидно, что масштабы геологических процессов неизмеримо возросли под влиянием деятельности человека и что защита от них необходима и реальна.

В настоящее время воздействие человека на земную кору сопоставимо с природными воздействиями. Ежегодно из недр Земли при добыче полезных ископаемых, строительстве и других видах деятельности извлекается и перемещается около 100 млрд.тонн горных пород. Добыча полезных ископаемых ведется с глубин до нескольких тысяч метров во все возрастающих объемах. Создание водохранилищ, интенсивное орошение и осушение земель на больших территориях вносит существенные изменения в ход геологических и даже климатических процессов. Разнообразные изменения происходят в литосфере на территории больших городов.

Острота проблемы и необходимость ее решения с целью предупреждения негативных последствий стимулировали развитие научно-практического подхода к изучению этих процессов. Познание закономерностей развития экзогенных геологических процессов, в том числе оползней и селей, позволяет снизить, а в ряде случаев полностью предотвратить их проявления. С развитием инженерной геологии и смежных с ней наук прогнозирование проявлений оползней и селей и управление ими становится все большей реальностью. Применение современных методов контроля и систем раннего оповещения, создание противоселевых и противооползневых инженерных сооружений позволяют в значительной степени ослабить силу разрушительного воздействия оползней и селей и, таким образом, уменьшить экономический ущерб.

С 1980 г. начал осуществляться международный проект ФП/1107-79-04 "Охрана литосферы как компонента окружающей среды" (ОЛКОС), финансировавшийся Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП) и Организацией Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО). Реализация Проекта в СССР осуществлялась Центром международных проектов ГКНТ СССР, Академией наук СССР и Министерством геологии СССР.

Первая фаза этого проекта состояла из двух частей: гидрогеологической и инженерно-геологической. Основным результатом работ по второй части проекта явилась настоящая двухтомная монография "Оползни и сели".

В ходе выполнения первой фазы Проекта в 1981 г. был проведен в г. Алма-Ате (СССР) Международный семинар по мониторингу экзогенных геологических процессов. В работе семинара приняли участие ученые из СССР, США, Канады, Перу, Франции, ЧССР, Алжира, Чада, Афганистана, Турции, Новой Зеландии, Швеции, Норвегии, КНР и Японии. В докладах семинара был обобщен мировой опыт изучения и прогноза оползней и селей, а также опыт защиты от этих явлений. Ход работы над монографией систематически обсуждался на заседаниях Международного Научного совета по проблемам литосферы и редколлегии в Москве (1980, 1983), Алма-Ате (1981), Праге (1982) и Токио (1983).

Вторая фаза проекта будет осуществляться в рамках программы X.2 "Стихийные бедствия", которая включена в средне-срочный план на 1984-1989 гг. и предусматривает расширение работ в области охраны геологической среды, как сферы обитания человека, от негативных последствий техногенных воздействий.

Следует отметить, что в последние годы был опубликован ряд научных работ, посвященных изучению отдельных генетических типов оползней и селей. Такие работы были опубликованы или в форме учебников, руководств или же в виде сборников научных докладов на различных форумах, проводившихся на национальных или международных уровнях. Отличительной чертой настоящей монографии от ранее опубликованных работ является, прежде всего, всеохватывающий характер описания оползней и селей, научно-теоретический подход к решению практических проблем, подкрепление теоретических выводов характерными практическими примерами из различных стран. В ней обобщен мировой опыт изучения и прогноза этих процессов и опыт защиты от них.

Стиль и язык изложения материалов в монографии построен таким образом, чтобы книга была понятной не только ученым, но и специалистам средне-технического образования, а также другим специалистам, занимающимся вопросами планирования использования территорий и охраны окружающей среды. При этом одним из главных условий являлось сохранение новизны и научной актуальности изложенных материалов в монографии.

В связи с тем, что в составлении монографии принимал участие большой коллектив авторов из многих стран мира, понятийно-терминологическая проблема решена не полностью. Это объясняется тем, что отдельные ученые в один и тот же термин часто вкладывают неодинаковый смысл. Эти трудности в какой-то мере преодолены путем составления глоссария. Однако решить проблему в рамках одной монографии до конца не представилось возможным, так как для этого требуется постановка специальной работы с привлечением более широкого круга специалистов из разных стран.

Монография состоит из двух томов. Первый том, в котором изложены теоретические и методические вопросы, составлен в основном, советскими учеными. Этот том состоит из трех частей, объединяющих восемнадцать глав.

В первой части описаны факторы, определяющие формирование и развитие оползней и селей; кратко изложены закономерности их формирования и развития.

Во второй части изложены общие принципы проведения инженерно-геологических исследований; приведены схемы организации наблюдательной сети, методы и технические средства изучения оползней и селей; методика составления и обработки временных рядов этих процессов и факторов, их обусловливающих, а также особенности использования аэрокосмических, геофизических и ядерно-изотопных методов и изучение физико-механических свойств горных пород.

Третья часть посвящена методам прогнозов развития оползней и селей и мероприятиям по защите территории от них. В этой части монографии описаны методы расчетов основных параметров оползней и селей, моделирование оползневых и селевых процессов, а также методологические основы комплексных схем защитных и охранных мероприятий.

Второй том является логическим продолжением первого тома, в нем изложен опыт изучения и прогноза оползней и селей, а также опыт защиты от этих процессов хозяйственных объектов в разных странах. В составлении второго тома приняли участие 30 ведущих специалистов Советского Союза, Соединенных Штатов Америки, Франции, Канады, Японии, Китайской Народной Республики, Индии и Новой Зеландии. Этот том также состоит из трех частей.

В первой части описаны примеры изучения и прогноза оползней и селей в различных физико-географических и геологических условиях СССР и Индии.

Вторая часть посвящена описанию мероприятий по защите от оползней и селей в Канаде; СССР, Франции, Новой Зеландии, Китае, Японии и Индии.

В третьей части изложены социально-экономические проблемы, методы оценки ущерба от оползней и селей, юридические и административные аспекты, связанные с этими процессами на примере США, Франции и некоторых других стран.

Хотелось бы выразить искреннюю благодарность и признательность многочисленному авторскому коллективу, членам редколлегии, сотрудникам ЮНЕП и ЮНЕСКО, всем тем, кто участвовал в подготовке или способствовал созданию этой монографии.

В их числе особо следует отметить коллективы сотрудников Всесоюзного научно-исследовательского института гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО) и Всесоюзного института научно-технической информации (ВИНИТИ), которые внесли большой вклад в создание монографии и ее издание.

Представительность материалов из различных стран, научная обоснованность и практическая ценность высказанных в монографии положений и выводов позволяют надеяться на то, что монография "Оползни и сели" будет полезной для специалистов и ученых, работающих в области охраны природной среды и инженерной геологии во всех странах.

Е.А. Козловский,
профессор,
главный редактор
монографии, научный
руководитель проекта

ВВЕДЕНИЕ

1. Социально-экономическое значение проблемы*)

Экзогенные геологические процессы, в том числе оползни и сели, отражают закономерное развитие приповерхностной части литосферы, обусловленное как внутренними силами Земли, так и внешним воздействием на нее. По своим генетическим особенностям геологические процессы многообразны и характеризуются различными формами проявления. Они имеют повсеместное распространение на Земле, но в разных регионах преобладают те или иные генетические типы. Проявление экзогенных геологических процессов нередко носит катастрофический характер, вызывает разрушения на огромных территориях, превращает цветущие долины и сельскохозяйственные угодья в безжизненные пустыни, уносит человеческие жизни.

Экзогенные геологические процессы могут протекать независимо от деятельности человека. Однако человек в ходе хозяйственной деятельности может существенно изменить ход развития этих процессов: ускорить или замедлить их, даже вызвать новые генетические типы, которые раньше на этой территории не наблюдались. Оправдывается предсказание академика В.И. Вернадского, что человек, вооруженный техникой, становится фактором, который способен существенно изменить ход природных геологических процессов.

Наибольшей катастрофичностью проявления среди всего комплекса экзогенных геологических процессов отличаются оползни и сели. Известны случаи, когда проявление оползней и селей было причиной массовой гибели людей. Катастрофические оползни, сели и обвалы происходили на поверхности Земли в течение всей истории ее развития. Особенности грандиозные масштабы приобретает массовая активизация оползней и селей во время сильных землетрясений. Наиболее грандиозной катастрофой, описание которой дошло до нас с древних времен, является событие, приведенное в работе Маринатоса [13], которое произошло в Центральной Греции в IV веке до н.э. "В году 372/2 до рождества Христова, во время ужасной зимней ночи, необычное событие случилось в Центральной Греции. Гелиос, большой и процветающий город на северном побережье Пелопонесса был проглочен волнами, после того как сравнялся с землей после большого землетрясения. Ни одна живая душа не осталась на этом месте". Исследование Маринатоса показывает, что Гелиос, вероятно, был погружен в море в результате смещения грунта на расстояние примерно 1 км. Сид [22] пришел к заключению, что это был, пожалуй, самый большой оползень, происшедший под влиянием внезапного разжижения грунта при землетрясении. Другая подобная катастрофа (вероятно это был селевой поток) отмечается испанскими конкистадорами в Боливии в XVI веке [21]. Согласно записи священника Падре Каланча, который наблюдал это явление на расстоянии, – небольшое селение Ханко, в котором проживало около 2 тыс. человек, внезапно исчезло: "в течение нескольких минут было проглочено землей без малейшего указания на то, что оно когда-то здесь существовало: кроме облака пыли, которое поднялось в том месте, где раньше была деревня, ничего не осталось". В качестве самого яркого примера следует привести случай массовой активизации оползневых процессов, вызванный сильным землетрясением в провинции Консу в Китае в 1920 г., когда были разрушены десятки деревень и погибло около 100 тыс. человек. В Перу за последние 20 лет во время трех катастрофических оползней погибло более 20 тыс. человек, разрушено много деревень, сельскохозяйственных угодий и дорог. Наиболее крупной катастрофой в мире, которая связана с хозяйственной деятельностью, является выплеск воды через плотину Вайонт в Северной Италии в 1963 г., который был вызван обрушением оползня в водохранилище. В результате выплеска огромного

*При написании введения использованы материалы Р. Шустера и Р. Флеминга, полностью публикуемые во втором томе монографии.

объема воды из водохранилища образовался катастрофический паводок, который вызвал на своем пути сильные разрушения. Во время паводка погибло около 3 тыс. человек.

Массовая активизация оползней и селей наблюдается при особых метеорологических условиях, когда выпадает большое количество осадков. Такая массовая активизация селевых и оползневых процессов наблюдалась в 1969 г. в штате Виргиния (США) как результат урагана Камилла, в Таджикистане (СССР) вследствие аномально большого количества атмосферных осадков, выпавших в зимне-весенний сезон, а также активизация оползней в Молдавской ССР в 1970 г., вызванная сильными зимними и весенними дождями.

Убытки от оползней и селей

Убытки от оползней и селей следует подразделять на прямые и косвенные.

Прямые убытки – это стоимость уничтоженных или приведенных в негодность материальных ценностей в ходе проявления оползней и селей (промышленные предприятия, жилые дома, разного рода хозяйственные постройки, технические средства: тракторы, автомобили, сельскохозяйственная техника и т.д.), а также стоимость работ по ликвидации последствий этих процессов (расчистка улиц и сельскохозяйственных угодий, ремонт и восстановление дорог и прочие мероприятия, направленные на ликвидацию последствий).

Косвенные убытки – это все другие убытки, обусловленные прямым ущербом. Примеры косвенных убытков следующие: а) потеря продуктивности сельскохозяйственных и лесных угодий; б) простои предприятий из-за перерыва в работе транспорта; в) пониженная ценность недвижимости в районах, где могут произойти оползни и сели; г) потери урожая из-за разрушения ирригационной системы и т.д. Некоторые косвенные убытки трудно оценить; их оценка часто занижается или просто игнорируется.

В настоящее время еще не имеется методики подсчета прямых, тем более косвенных убытков. Поэтому трудно получить надежные оценки общих убытков от оползней и селей. Такие убытки по отдельным районам в разных странах обычно подсчитываются от случая к случаю. Ниже приводятся примеры убытков от оползней и селей в США и некоторых других странах, обобщенных Р. Шустером и Р. Флемингом. В большинстве случаев эти оценки в качестве первого приближения можно использовать для других стран, имеющих схожие природные условия и освоенность территории. Для развивающихся стран эти оценки могут оказаться несколько завышенными, т.к. стоимость собственности и труда в этих странах может быть ниже, чем в США.

Первым национальным исследованием убытков, нанесенных оползнями, вероятно, является отчет Научного управления автомагистралей (Смит, 1958), в котором ежегодные убытки от оползней в США достигают сотен миллионов долларов. Эта оценка близка к реальным убыткам. Однако за истекшие 25 лет с момента получения Смитом этих данных, в связи с расширением освоения территорий, подверженных оползням и селям, учитывая инфляцию, сумма убытков должна быть увеличена. Д. Крон и Д. Слоссон [12] считают, что ежегодные только прямые убытки составляют около 400 миллионов долларов (по состоянию на 1971 г.) Ф. Джонс [10] рассматривал общие убытки, нанесенные оползнями и осадками грунта в США в период с 1925 г. по 1971 г. Он считает, что прямые убытки составили за этот период примерно 75 миллардов долларов. Эта цифра более чем в три раза превышает цифру убытков от паводков, ураганов, торнадо и землетрясений в течение того же периода времени. Пользуясь вышеприведенной информацией с учетом косвенных убытков, а также неопубликованными данными, Р. Шустер [21] приходит к выводу, что прямые и косвенные убытки от оползней и селей в США превышают 1 миллиард долларов в год. К 1983 году общие убытки, по данным Р. Шустера, вероятно, увеличатся до 1,5 миллиарда долларов (с учетом инфляции).

В Японии, по данным Н. Охира (генерального директора Японского национального исследовательского центра по предупреждению катастроф) ежегодные убытки от оползней и селей составляют около 1,5 миллиарда долларов в год (устное сообщение 1982 г.). На основании неопубликованных результатов обследования, проведенного ЮНЕСКО в 1976 г., установлено, что ежегодные убытки от оползней в Италии сос-

тавляют примерно 1 миллиард 140 миллионов долларов (М. Арно, письменное сообщение, 1982).

Г. Матур, исходя из того, что убытки на каждые 10 тыс. км автострад и прочих автомобильных дорог, проложенных в холмистой местности северной Индии, составляют 100 млн. долларов, пришел к выводу, что ежегодные потери от оползней составляют примерно 1 миллиард долларов в год на всю дорожную сеть, составляющую 88 979 км в этом оползнеопасном районе [14]. Кроме известных данных по стоимости восстановления и обслуживания поврежденных дорог, Матур включает также косвенные потери, связанные с гибелью людей и с перерывами движения, уменьшением количества туристов, а также нарушением других коммуникаций. Самая большая доля косвенных убытков связана с гибелью людей и с перерывом движения, которые составляют 350 миллионов долларов. Таким образом, эти убытки от оползней в Индии не могут прямо сопоставляться с оценками убытков в трех других странах, приведенных выше. Однако можно считать, что ежегодные потери от оползней в США, Японии, Италии и Индии имеют приблизительно один и тот же порядок. Насколько известно, аналогичны оценки убытков от оползней и селей в других странах не устанавливаются и обычно оцениваются как незначительные.

Несколько более точные оценки убытков от оползней и селей для небольших районов США приведены Р. Шустером и Р. Флемингом во втором томе монографии.

Гибель людей

Кроме экономических убытков, как упоминалось выше, катастрофические проявления оползней и селей вызывают гибель сотен и тысяч людей во всех частях мира. Люди испытывали угрозу от этих явлений с самых древних времен, но с ростом населения в мире и освоения неблагоприятных территорий, где интенсивно проявляются оползни и сели, угроза начала усиливается. Д. Варнес [23] подсчитал, что в период 1971–1974 гг. от оползней и селей в мире в среднем ежегодно погибало 600 человек. При этом около 90% этих жертв приходится на районы Циркум-Тихоокеанского пояса (бассейн Тихого океана). В США ежегодно от оползней и селей, по данным Д. Крона и Д. Слоссона [12], погибает 25 человек. Следует отметить, что эта цифра превышает число жертв в США от землетрясений. Сведения о гибели людей от оползней и селей на основе анализа данных по вопроснику ЮНЕСКО, который был разослан во все страны, приведены в работе М.Арну и П. Фрея [2].

Самой грандиозной, вызвавшей гибель огромного количества людей, была катастрофа в провинции Консу (Китай) в 1920 г., о которой упоминалось выше. По официальным данным Китая, во время этого землетрясения погибло 200 тыс. человек [4]. В это число входят все жертвы, включая обрушение пещер, где жили люди, разрушение жилых зданий, гибель людей от отсутствия жилища в суровых климатических условиях и т.д. Непосредственно от оползней в эту катастрофу, по подсчетам А. Клоза и Э. Мак Кормика, погибло около 100 тыс. человек (4).

Последними из известных катастрофических оползней были гигантские оползни-потоки на склонах горы Хуаскаран в Кордильере Бланка (Перу) в 1962 и 1970 гг. В январе 1962 г. высоко в горах обрушился ледник. Ледяная лавина двигалась с большой скоростью и на пути обогащалась обломками скальных пород и рыхлых отложений. Она с грохотом промчалась по нескольким горным деревням, которые полностью разрушила. При этом погибло от 4 до 5 тыс. человек [5]. Через 8 лет в этом районе катастрофа повторилась. Во время землетрясения силой 8 баллов с эпицентром недалеко от побережья Перу на склоне горы Хуаскаран произошло обрушение огромных масс горных пород, которые в виде грунтовой лавины со скоростью 320 км/ч двигались по той же самой долине, но площадь, которая была погребена под этим оползнем была больше [5, 19]. Под оползнем оказались погребенными города Юнгай и Ранрахирка; погибло 18 тыс. человек.

В 1974 г. во время другого крупного оползня в Андах (Перу) погибло около 450 человек, в основном в деревне Маюнмарка [9]. Этот оползень в долине реки Монтаро был самым большим на памяти людей и имел объем 1,6 км^3. Он подпрудил реку Монтаро, при этом образовалось озеро глубиной 170 м и длиной около 31 км.

Единственная дорога вдоль реки над плотиной, созданной оползнем, была уничтожена последующими более мелкими оползнями. В последующем вода, начав переливаться через плотину, прорвала ее, образовав паводок, который разрушил 20 км дорог, 3 моста и много ферм.

Япония среди развитых стран, по-видимому, выделяется по числу потерь людей и материальных ценностей от оползней и селей. Самым старым из зарегистрированных оползней в Японии, который вызвал гибель большого числа людей и большие разрушения, был оползень 989 года [6, 17]. Основная масса обрушений склонов в Японии, несмотря на очень активную сейсмичность, происходит не во время землетрясений, а во время сильных дождей и тайфунов. Особенно подвергаются оползням городские районы, где наблюдаются большие разрушения. Например, в июле 1938 г. в Кобе, одном из самых больших городов в Японии, в результате крупного селевого потока, вызванного сильными дождями, погибло 616 человек и было разрушено 130 тыс. домов [6]. В городе Куре в сентябре 1945 г. в селевых потоках, вызванных тайфуном, погибло 1 154 человека [19].

В Советском Союзе также имели место катастрофические проявления оползней и селей, которые вызывали гибель людей. Самой большой катастрофой является событие, зарегистрированное в 1949 г. Во время землетрясения силой 9 баллов в Таджикистане (Тянь-Шань) произошло массовое обрушение склонов, сложенных лессовидными суглинками, в виде оползней и селевых потоков. Некоторые крупные города СССР, столицы союзных республик – Алма-Ата, Ереван, Фрунзе и другие расположены в зонах возможного воздействия селевых потоков [7]. В 1921 г. катастрофический селевой поток разрушил город Алма-Ату, при этом погибло около 500 человек [27].

В тех случаях, когда катастрофические обрушения склонов происходят в слабо освоенных и малонаселенных районах, они не вызывают значительных жертв и материального ущерба. В Северной Америке в прошлом веке имели место значительные по масштабу проявления оползней и селей, но ущерба в виду слабой населенности не наносили. Однако в этом столетии было несколько катастрофических обрушений склонов, вызвавших гибель людей. В Канаде в 1903 г. оползень обрушился на поселок Франк в провинции Альберто; погибло 70 человек [15].

Одним из самых ужасных событий были паводки и селевые потоки в штате Виргиния (США). В 1969 г. во время урагана Камилла произошли катастрофические паводки и селевые потоки. Зарегистрировано 150 человек, погибших в селевых потоках, хотя точное число жертв до сих пор не установлено [26]. В 1972 г. в этом штате оползнем были разрушены плотины в Буффало Крик. Селевой поток, который образовался в результате разрушения трех плотин, отсыпанных из отвалов угольных шахт, прошел вниз по течению 24 км, вызвав гибель 125 человек и оставив без крова 4 тыс. человек.

Следует отметить, что два самых грандиозных оползня, которые произошли на памяти человека в малонаселенных районах, обошлись без большого числа жертв. В 1911 г. на Памире (СССР) во время сильного землетрясения произошел оползень объемом 2,2 км^3, который подпрудил реку Мургаб. Под оползнем оказалось селение Усой вместе с 54 жителями [3].

В мае 1980 г. в результате взрыва вулкана Святой Елены (США) произошло отчленение и сползание части склона горы объемом около 2,8 км^3, которое затем перешло в обрушение в виде земляной лавины, двигавшейся с большой скоростью и давшей начало селевым потокам. Обломочная лавина прошла 22 км на запад и засыпала долину реки Норт Тууте, слабо сортированным материалом на площади 60 км^2 [24]. Хотя в результате этой катастрофы было разрушено множество дорог, общественных и частных зданий, погибло только 5–10 человек, так как были приняты меры по предупреждению и эвакуации населения ввиду возможного извержения вулкана.

Защита от оползней и селей

Человек стал применять меры защиты от оползней и селей с тех пор, как он испытал их опасное воздействие. Вначале это были примитивные пассивные средства. По мере познания закономерностей развития этих процессов и развития технической воору-

женности человек стал применять более совершенные методы защиты от оползней и селей. В настоящее время нет ни одного государства в мире, где не проводились бы работы по защите инженерных сооружений, коммуникаций, сельскохозяйственных угодий и других объектов от оползней, селей и других экзогенных геологических процессов.

В мире накоплен большой опыт работ по борьбе с оползневыми и селевыми процессами. Первые планомерные работы по изучению оползневых процессов с целью обоснования эффективных мероприятий борьбы с ними на государственном уровне были начаты на Южном берегу Крыма (СССР) в 20-х гг. нашего столетия. С самого начала исследования носили планомерный комплексный характер: они включали общие геологические (стратиграфия, литология, тектоника, геоморфология), гидрогеологические и инженерно-геологические вопросы.

В 1932 г. были организованы оползневые станции в городах Сочи и Одессе (СССР). В связи с широким размахом строительства в последующем сеть оползневых станций в СССР была значительно расширена, созданы оползневые станции в городах Москве, Киеве, Горьком, Ульяновске, в Средней Азии, Закавказье и других районах Советского Союза. В последние 20-25 лет в Советском Союзе внимание к изучению экзогенных геологических процессов, в том числе оползней и селей, в связи с проблемой охраны окружающей среды резко повысилось.

В государственных планах развития народного хозяйства СССР предусматриваются специальные расходы: на изучение и прогноз погоды, стихийных бедствий, в том числе оползней и селей. На охрану природы, в том числе на защиту от геологических процессов, в СССР ежегодно расходуется около 2 млрд. рублей. В СССР созданы специализированные организации по изучению режима подземных вод и экзогенных геологических процессов, которые имеют программы долгосрочных работ по изучению экзогенных геологических процессов. В Советском Союзе завершаются работы по специальному инженерно-геологическому обследованию территории и населенных пунктов с целью оценки подверженности их воздействию экзогенных геологических процессов. В результате этих работ для всей территории будут составлены инженерно-геологические карты: а) условий развития экзогенных геологических процессов; б) районирования по интенсивности их проявления, а также карта подверженности населенных пунктов и других хозяйственных объектов воздействию геологических процессов. На основе результатов инженерно-геологического обследования будет создана опорная наблюдательная сеть для изучения режима экзогенных геологических процессов и система их мониторинга, которая будет включать и прогноз этих процессов.

В Советском Союзе для наиболее важных народнохозяйственных регионов с широким распространением экзогенных геологических процессов (Черноморское побережье Кавказа, Молдавская ССР, зона Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, Европейская часть СССР) составлены карты прогноза оползней, селей и других процессов до 2000 года. В Узбекской ССР составляются прогнозы возможной активизации экзогенных геологических процессов на предстоящий сезон и указываются населенные пункты, которые могут подвергнуться воздействию этих процессов. В Таджикской ССР при активизации экзогенных геологических процессов создается служба наблюдения и оповещения об опасности.

Осуществлены крупные комплексы мероприятий по защите от оползней городов Москвы, Горького, Ульяновска, Сочи, южного берега Крыма и в других районах, от селей - городов Алма-Аты, Еревана, населенных пунктов в Ферганской долине (Узбекская ССР) и на Кавказе (Грузинская ССР). В настоящее время ведутся работы по составлению генеральных схем защиты от экзогенных геологических процессов целых районов, областей и республик. Все научно-исследовательские работы по изучению и прогнозу оползней и селей, а также по разработке эффективных мероприятий защиты от них координируются Государственным Комитетом СССР по науке и технике.

Самой широкой национальной программой по снижению убытков от оползней в других странах следует считать программу, принятую в Японии, где начиная со Второй мировой войны проводится работа по борьбе с оползнями (Японское общество по борьбе с оползнями, 1980 г.) Первоначально деятельность, связанная с борьбой с оползнями, была ориентирована на работу по улучшению речных русел, борьбе с эрозией, а также содержанию в хорошем состоянии сельскохозяйственных и лесных угодий. Первая программа в Японии, которая была посвящена исключительно борьбе с оползнями,

началась в 1958 г. под названием "Закон по предупреждению оползней". С этого момента были приняты и другие меры юридического характера; в 1969 г. был принят закон по предотвращению обрушений крутых склонов. В этом законе обеспечивается выделение из госфондов расходов по проведению восстановительных работ на местах, подвергшихся стихийным бедствиям, в которых не повинны отдельные лица. Меры предусматривают финансирование не только ремонтных работ и восстановление утерянной собственности, но также строительство необходимых профилактических сооружений в тех местах, где могут проявиться геологические процессы. Ежегодные расходы по этой программе составляют приблизительно 500 миллионов долларов (Н. Охира, личное сообщение, 1982). Другие страны также разработали свои национальные программы. Некоторые из них создали необходимую базу технических данных для идентификации районов, где может произойти обрушение. Например, во Франции разработана программа под названием ЗЕРМОС (зонирование районов с возможным смешением грунтов). По этой программе создается целая серия карт, на которых в масштабе 1:25 000 или крупнее указываются зоны, опасные в отношении оползней. Такие карты дают представление о степени возможности оползней в различных типах грунтов и возможных действиях по предупреждению отрицательных последствий [14, 24]. В последнее время цели программы ЗЕРМОС были значительно расширены и теперь программа предусматривает выдачу рекомендаций для правильного размещения предприятий на землях, предполагаемых для освоения [25]. Программы страхового обеспечения могут снизить убытки от обрушения склонов. Как минимум такие программы снижают влияние стихийных бедствий на частные владения путем распределения убытков по большому району. Страховое обеспечение, которое включает правила по выбору места и метода строительства, может снизить общие убытки. В Новой Зеландии национальная программа страхового обеспечения помогает владельцам домов в тех случаях, когда их жилища повреждаются оползнями или другими стихийными бедствиями, которые нельзя предотвратить силами владельцев домов [20]. Это страхование от стихийных бедствий является продолжением закона о землетрясениях и убытках в результате военных действий от 1944 г. Фонд для стихийных бедствий, который получается в результате повышения стоимости страхового обеспечения от пожаров, помогает покрыть те убытки от повреждений частной собственности, которые входят в статью о стихийных бедствиях [18]. В США Национальная программа по страховому обеспечению от паводков была создана на основании закона о развитии жилищ и городских поселений от 1968 г. Страховое обеспечение по оползням, вызванным "водой", принято целым рядом частных страховых компаний; однако используется еще мало. Эта программа страхового обеспечения поддерживается и финансируется федеральным правительством.

2. Методологические основы решения проблемы

Системный подход

В данной монографии к изучению оползней и селей применен системный подход. Системный подход – это методология научных исследований, которая ставит своей целью всестороннее изучение сложно организованных объектов (систем). Само по себе системное рассмотрение сложных объектов не ново. Л. Берталанфи, основоположник общей теории систем, отмечает, что системные представления были известны с древнейших времен. В свое время еще Аристотель высказал одно из фундаментальных положений системного подхода: "целое больше суммы его частей". В связи с глубоким познанием отдельных сторон объекта появилась необходимость рассмотрения этих объектов в целом на новом качественном уровне с использованием информации, полученной различными отраслями науки об их отдельных элементах.

Существует множество определений понятия "система". В данной монографии под системой понимается совокупность элементов (компонентов), связанных между собой определенными отношениями, которые могут рассматриваться как единая функциональная категория (единый целостный организм).

Различают две группы систем– закрытые и открытые. Экзогенные геологические процессы – это результат взаимодействия большого количества факторов (компонентов)

5386

в открытой эквифинальной системе, в которой проявление того или иного процесса на определенном этапе ее развития можно рассматривать, как результирующее действие всей системы. Эта сложная система (назовем ее условно "мегасистемой экзогенных геологических процессов") может быть подразделена на системы более низкого порядка. В соответствии с общей классификацией ЭГП можно выделить системы, соответствующие классам, подклассам, видам и типам (табл. 1). Оползни и сели в этой иерархии системного подхода соответствуют системам на уровне генетических типов. Мегасистема "экзогенные геологические процессы" может быть также подразделена на составные, более мелкие системы по территориальному признаку. В этом случае можно выделять системы ЭГП, соответствующие инженерно-геологическим регионам, областям, районам и участкам. Выделение систем по территориальному признаку отражает парагенетические особенности развития экзогенных геологических процессов. Система "экзогенные геологические процессы" включает большое число факторов: геологическое строение, рельеф, гидрометеорологические, гидрогеологические и геокриологические условия, растительный и почвенный покров и т.д. Иерархия этих факторов в виде классификации приведена в главе 1.

Мониторинг экзогенных геологических процессов

Наиболее всесторонним изучением экзогенных геологических процессов, в том числе оползней и селей, является система мониторинга. Общая схема мониторинга приведена на рис. 1.

Система мониторинга включает три подсистемы: а) подготовительные работы, б) наблюдения и в) прогноз и выдачу рекомендаций. Подготовительные работы включают сле-

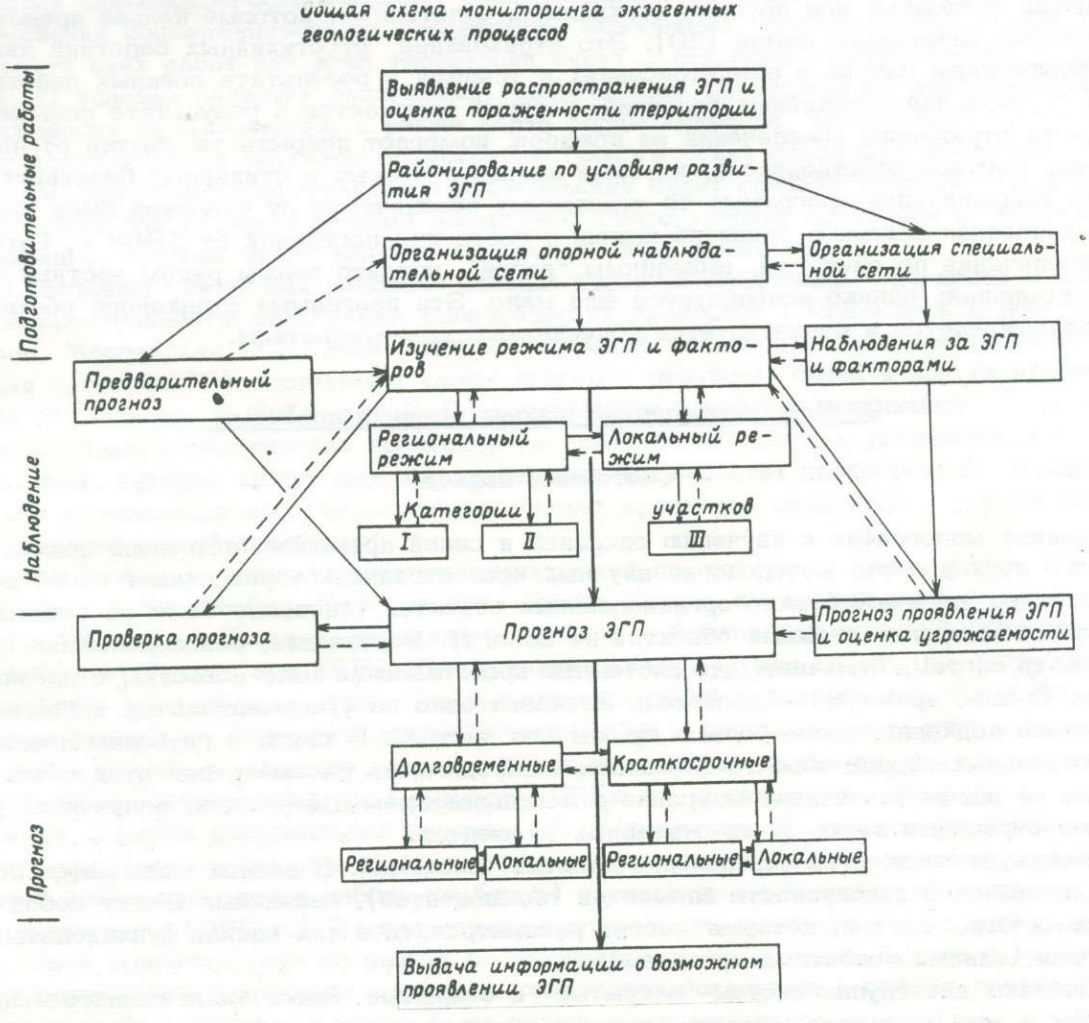


Рис. 1. Общая схема мониторинга экзогенных геологических процессов

Таблица 1

Общая классификация экзогенных геологических процессов

Классы	Подклассы	Типы
Связанные с действием силы тяжести	Движение с потерей контакта со склоном	Обвалы Осыпи
	Движение без потери контакта со склоном	Оползни Лавины
Связанные с действием поверхностных вод	Морей	Абразия Движение наносов
	Озер, лиманов	Абразия
	Водотоков	Склоновый смыв Эрозия Сели
Связанные с действием подземных вод	Химическое выщелачивание	Карст
	Механический вынос	Суффозия
	Ослабление структурных связей	Просадка лессовых пород
Связанные с действием ветра		Развевание песков Пыльные бури
	Промерзание горных пород	Пучение
Связанные с промерзанием и оттаиванием горных пород		Наледеобразование Криогенное растрескивание
	Оттаивание горных пород	Курумы Термопросадки и термосадки Термоэрозия
Связанные с действием многих факторов	Выветривание	Физическое Химическое Биологическое

дующие основные этапы исследований: а) выявление распространения и оценку пораженности территории ЭГП, б) районирование по условиям развития оползней и селей и в) организацию наблюдательной сети. Выявление распространения и оценка пораженности производится в ходе специального инженерно-геологического обследования или при комплексной инженерно-геологической съемке [28, 29]. В результате этих работ составляются инженерно-геологические карты районирования по условиям развития и интенсивности проявления оползней и селей.

На основе этих карт производится организация наблюдательной опорной сети для изучения режима развития оползневых и селевых процессов. Наблюдательная опорная сеть должна предусматривать изучение режима развития оползней и селей как в региональном, так и в покальном аспектах. Для этой цели режим изучается на участках трех категорий (детально этот вопрос рассматривается в части **III**). Кроме опорной

режимной сети, может создаваться специальная сеть наблюдений за оползнями и селями, непосредственно угрожающими хозяйственным объектам.

Подсистема "прогноз" включает долговременные и краткосрочные прогнозы, которые могут быть региональными и локальными, а также специальный прогноз по оценке угрожаемости того или иного процесса хозяйственным объектам. Эта система предусматривает также выдачу информации заинтересованным организациям, оповещение и предупреждение населения о возможном проявлении оползней и селей.

Материалы мониторинга используются для разработки мероприятий по защите территории от вреднего воздействия оползней и селей, а также для разработки рекомендаций по рациональному ее использованию.

Литература

1. Arnould M. Geologycal hazards–insurance and legal and technical aspects. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 1976, №14, p.263–274

2. Arnould M., Frey P. Analyses des Responses a une Enquete Internationale de l'UNESCO sur les Glissements de Terrain. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 1978, №17, p.114–118

3. Bolt B.A., Horn W.L., Macdonald G.A., Scott R.F. Geological hazards. Springer–Verlag, N.Y., 1975, p.328

4. Close, Upton, McCormick, Elsie, Where the mountains walked. National Geographic Magazine, 1922, vol.41, №5, p.445–464

5. Cluff L.S. Peru earthquake of May 31, 1970. Engineering geology observations. Seismological Society of America Bulletin, 1971, vol.61, №3, p.511–521

6. Fukuoka M. Some case studies on landslides in Japan. 1982. Landslides and mudflows. Reports of Alma–Ata International Seminar, Alma–Ata, 1981, UNESCO, p.333–352

7. Gerasimov I.P., Zvonkova T.B. Natural hazards in the territory of the USSR: study, control, and warning. 1974. White G.F., ed., Natural hazards–local, national, global. Oxford University Press, N.Y., p.243–251

8. Humbert M. Risk–mapping of areas exposed to movements of soil–French "ZERMOS" maps (in French with English summary). Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 1977, №16, p.80–82

9. Hutchinson J.N., Kojan, Eugene. The Mayunmarca landslides of 25 April 1974. UNESCO Serial №3124/RMO.RD/ SCE, Paris, 1975, 23 p.

10. Jones F.O. Landslides of Rio de Janeiro and the Serra das Araras escarpment, Brazil. U.S. Geological Survey Professional Paper 697, 1973, 42 p.

11. Kiersch G.A. Vaiont Reservoir disaster. Civil Engineering, American Society of Civil Engineers, 1964, vol.34, №3, p.32–39

12. Krohn J.P., Slosson J.E. Landslide potential in the United States. California Geology, 1976, vol.29, №10, p.224–231

13. Marinatos S.N. Helice: a submerged town of classical Greece. Archaeology, Archaeological Institute of America, 1960, vol.13, №3, p.186–193

14. Mathur H.N. Influence of human activities on landslides, mudflows and slope movements in India and efforts at reducing their negative impact. 1982. Landslides and mudflows. Reports of Alma–Ata International Seminar, Alma–Ata, 1981, UNESCO, p.20–44

15. McConnell R.G., Brock R.W. The great landslides at Frank, Alberta. 1904. Annual Report of the Canada Department of the Interior for the year 1902–03. Session Paper 25, p.1–17

16. Merriam, Richard. Portuguese Bend landslide, Palos Verdes Hills, California, Journal of Geology, 1960, vol.68, №2, p.140–153

17. Nakano T., Kadomura H., Mizutani T., Okuda M., Sekiguchi T. Natural hazards: report from Japan. White G.F., ed., Natural hazards–local, national, global. Oxford University Press, N.Y. 1974, Chapter 28, p.231–243

18. O'Riordan, Timothy. The New Zealand natural hazard insurance scheme: application to North America. 1974. White G.F., Natural hazards–local, national, global. Oxford University Press, N.Y., p.217–219

19. Plafker, George, Erickson G.E., Fernandez Concha, Jaime. Geological aspects of the May 31, 1970, Peru earthquake. Seismological Society of America Bulletin, 1971, vol.61, №3, p. 543–578

20. Porcher M., Guillope P. Cartographie des risques ZERMOS appliquée à des plans d'occupation des sols en Normandie (Introduction par Ph. Gaudemer et M. Le Campion). Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, Bulletin de liaison, 1979, № 99, p. 43–54

21. Schuster R.L. Introduction, Chapter 2, Schuster R.L., Krizek R.J., eds., Landslides–analysis and control. Transportation Research Board Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington, DC, 1978, p.1–10

22. Seed H.B. Landslides during earthquakes due to soil liquefaction. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers, 1968, vol.94, № SM5, p. 1055–1122

23. Varnes D.J. Slope–stability problems of the Circum–Pacific Region as related to mineral and energy resources. Halbouty M.T., ed., Energy resources of the Pacific region. American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology, 1981, № 12, p.489–505

24. Voight, Barry, Glicken, Harry, Janda R.J., Douglass P.M. Catastrophic rockslide avalanche of May 18. Lipman P.W., 1981. Mullineaux D.R., ed., The 1980 eruptions of Mounf St. Helens, Washington. U.S. Geological Survey Professional Paper 1250, p. 347–377

25. Wesson C.V.K., Wesson R.L. 1975, Odyssey to Tadzhik–An American family joins a Soviet seismological expedition. U.S. Geological Survey Earthquake Information Bulletin, 1975, vol.7, №1, p.8–16

26. Williams G.P., Guy H.P. Erosional and depositional aspects of Hurricane Camille in Virginia, 1969. U.S. Geological Survey Professional Paper 804, 1973, 80 p.

27. Yesenov Y.E., Degovets A.S. Protection of the city of Alma–Ata from mud–rock flows. 1982, Landslides and mudflows. Reports of Alma–Ata International Seminar, Alma–Ata, 1981, UNESCO, p. 454–465.

28. Методические рекомендации по проведению специального инженерно–геологического обследования территории. Ред. М.М. Максимов и А.И. Шеко. ВСЕГИНГЕО, 1981, 64 с.

29. Методическое руководство по инженерно–геологической съемке масштаба 1:200 000 (1:100 000 –1:500 000). Ред. Е.С. Мельников. М.: Недра, 1978, 392 с.

30. Современные геологические процессы на Черноморском побережье СССР. Ред. А.И. Шеко. М.: Недра, 1976, 184 с.

ЧАСТЬ I

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ

Глава 1

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ

1. Классификация факторов

Обзор и критический анализ классификаций, обусловливающих формирование и развитие оползневых и селевых процессов, сделаны А.И. Шеко в работе [50]. Им же применительно к временным прогнозам с учетом системного подхода разработана общая классификация процессообразующих факторов. Все факторы, обусловливающие развитие экзогенных геологических процессов, в том числе оползней и селей, подразделены на три группы: постоянные (неизменяющиеся), медленно изменяющиеся и быстро изменяющиеся (табл. 1.1).

К факторам первой группы отнесены геологическое строение и рельеф, т.е. те факторы, которые на время прогноза можно считать неизменными. Факторы этой группы определяют генетические особенности экзогенных геологических процессов и интенсивность их проявления. Факторы второй группы определяют общую тенденцию развития экзогенных геологических процессов. В этой группе в свою очередь можно выделить две подгруппы: независимые и производные. К подгруппе независимых относятся современные тектонические движения и климат. Независимость этих факторов условна и может только рассматриваться по отношению к факторам второй подгруппы – производным, к которым отнесены гидрогеологические и геокриологические условия, растительность и почвы. Третья группа факторов (быстроизменяющиеся) также подразделяется на две подгруппы: независимые и производные. Независимые факторы: метеорологические (атмосферные осадки, температура, ветер и т.д.), гидрологические (расходы и уровни воды в реках, уровни воды и волнения в морях и озерах и т.д.), сейсмические (землетрясения) условия и хозяйственная деятельность (вырубка лесов, подрезка склонов, сооружение насыпей, неумеренный выпас скота, горные работы и т.д.) в конечном счете определяют режим активизации экзогенных геологических процессов, но действие их опосредовано через производные факторы (поверхностный сток, влажность, льдистость, температуру, прочностные и деформационные свойства горных пород и т.д.).

Первые две группы факторов являются основой пространственного, а факторы третьей группы – основой временного прогноза. Необходимо особо остановиться на разделении факторов на группы. Почти все факторы, перечисленные в классификации, имеют различные временные аспекты. Например, геологическое строение. Его компонент литологический состав в течение времени не остается постоянным, т.к. поверхность горных пород под действием агентов выветривания испытывают физическое дробление и химические изменения. Поэтому геологическое строение в целом (тектоника, стратиграфия, литология разреза) при временных прогнозах должно рассматриваться как постоянный неизменяющийся фактор, но когда рассматривается литологический состав приповерхностной части разреза, то фактор геологического строения должен быть отнесен в другую группу (медленно изменяющихся).

Общие гидрогеологические условия изменяются медленно, а уровень грунтовых вод испытывает колебания в течение короткого отрезка времени. Поэтому гидрогеологические условия отнесены ко второй группе (медленноизменяющихся), а уровень грунтовых

Таблица 1.1

Классификация факторов, обусловливающих развитие экзогенных геологических процессов, применительно к долговременным региональным прогнозам

Группы факторов	Что определяют
I. Постоянные	
1. Геологическое строение (тектоника, стратиграфия, литология)	Генетические особенности ЭГП и интенсивность их проявления (пораженность)
2. Геоморфологические (общий характер рельефа, морфология и морфометрия, генезис и возраст)	
II. Медленноизменяющиеся	
А. Независимые (основные)	
1. Современные тектонические движения (горизонтальные, вертикальные)	Общую тенденцию развития ЭГП
2. Климатические	
Б. Производные	
1. Изостатические и эвстатические изменения уровня моря	
2. Геокриологические	
3. Гидрогеологические	
4. Растительность	
5. Почвы	
III. Быстроизменяющиеся	
А. Независимые (основные)	
1. Метеорологические (атмосферные осадки, температура и др.)	Режим производных факторов и режим активизации ЭГП
2. Гидрологические (расходы и уровни воды в реках, уровни воды и волнения в озерах и т.п.)	
3. Сейсмические (землетрясения)	
4. Хозяйственная деятельность (вырубка лесов, подрезка склонов, лесные пожары и др.)	
Б. Производные	
1. Поверхностный сток (склоновый, временных и малых водотоков и др.)	Активизацию ЭГП
2. Влажность и льдистость горных пород	
3. Сезонное промерзание и оттаивание	
4. Прочностные и деформативные свойства горных пород	

вод – к третьей группе (быстроизменяющихся) факторов. Перечень примеров можно было бы продолжить, и эти особенности факторов во временном аспекте необходимо учитывать при прогнозе экзогенных геологических процессов.

4884

5386

2. Геологические условия

Под геологическими условиями понимаются литология, состав и свойства горных пород, а также условия их залегания. Геологические условия предопределяют генетические особенности проявления оползневых и селевых процессов, оказывают существенное влияние на интенсивность их проявления. К различным горным породам приурочены соответствующие парагенетические комплексы экзогенных геологических процессов, способствующих оползневому и селевому процессам. По мнению Е.М. Сергеева, горные породы являются "главным фактором формирования экзогенных геологических процессов" [1]. Все горные породы, по классификации Е.М. Сергеева, подразделяются на два больших класса: скальные и дисперсные. Среди скальных пород выделено пять основных групп: магматические, метаморфические, осадочные, сцементированные, осадочные химические и биохимические, и искусственные грунты.

Скальные породы характеризуются высокой механической прочностью, поэтому в неарушенных массивах этих пород развиваются только выветривание и выщелачивание, разрушающие их и создающие предпосылки для развития оползней и селей. Трещиноватость увеличивает интенсивность этих процессов. Избирательное выветривание по трещинам и разломам приводит к формированию ослабленных зон – потенциальных плоскостей смещения оползней. В селевом процессе выветривание определяет динамику накопления твердой составляющей. В результате выветривания происходят изменения минерального состава горных пород, наиболее значительные в магматических и метаморфических породах, менее существенные в осадочных. При выветривании магматических пород важное значение имеет содержание неустойчивых минералов и размеры кристаллов. Крупнокристаллические интрузивные породы разрушаются быстрее, чем мелкокристаллические или аморфные эффузивные. E.Goldich [61], специально занимавшийся вопросами устойчивости минералов к выветриванию, основные породообразующие силикаты по степени подверженности процессам выветривания расположил в следующий ряд: оливин> авгит> роговая обманка > биотит> кальциевый плагиоклаз> кальциево–натриевый плагиоклаз > натриево–кальциевый плагиоклаз> натриевый полевой шпат> мусковит кварц.

Для группы метаморфических пород характерной особенностью является их расслацованность, первичный облик породы очень сильно изменен. Прочность осадочных пород при метаморфизме обычно повышается, а магматических понижается. Эта группа характеризуется большим петрографическим разнообразием горных пород: гнейсы, кварциты, кристаллические и глинистые сланцы, мраморы.

Группа осадочных сцементированных пород объединяет конгломераты, брекчии, гравелиты, песчаники, туфиты, алевролиты, аргиллиты. Для этих пород характерна первичная слоистость. Для аргиллитов типичным процессом следует считать оползни, для других пород – сели.

Дисперсные горные породы характеризуются слабой прочностью и, как правило, резким ее уменьшением при увлажнении. В этом классе выделяется 5 групп: органо–химические и слабосцементированные; осадочные глинистые, лессовые и другие связные; обломочные несвязные; искусственные; современные осадки водоемов. В группу органохимических пород входят две подгруппы: кремнистые (трепел и диатомиты) и карбонатные (мел и мергели) породы.

Мел является очень своеобразной породой, в которой могут интенсивно развиваться оползневые процессы. Мел обладает специфическими свойствами: будучи достаточно прочной породой в естественных условиях, при местных сосредоточенных, особенно низкочастотных воздействиях разжижается [8]. Как отмечает И.М. Горькова, такая способность мела при оползании долго оставалась загадкой для инженеров геологов. Геологические исследования позволили объяснить такое "загадочное" поведение мела. Мел, как высокодисперсная и слабоуплотненная порода (объемная масса 1,32–1,40 г/см^3), обнаруживает в водонасыщенном состоянии бингамовское поведение. Прочность мела при нарушении структуры в водонасыщенном состоянии уменьшается в 600–700 раз [8].

Группа связных пород включает четыре подгруппы: лессовые, глинистые и биогенные породы, а также почвы. Эти петрографические типы пород содержат большое количество

глинистых частиц. В них могут интенсивно развиваться оползневые процессы. Физико-механические свойства этих пород в значительной степени определяются количеством и минералогическим составом глинистых частиц. Различные глинистые минералы обладают неодинаковой гидрофильностью. Наибольшей гидрофильностью отличаются минералы группы монтмориллонита, наименее гидрофилен каолинит, а гидрослюды занимают промежуточное положение. Особо важное значение показатель гидрофильности связных пород имеет при оценке состояния воды в селевых потоках, где он определяет структурно-реологические свойства селевой массы. В табл. 1.2 приведены величины максимальной влажности, определенные Л.И. Кульчицким для различных глинистых минералов, насыщенных различными обменными катионами [27]. Из приведенных данных следует, что при прочих одинаковых условиях в селевом потоке, в котором глинистые частицы представлены монтмориллонитом, связной воды от 2 до 5 раз будет больше, чем в селевом потоке, в которых глинистая фракция состоит из каолинита. Количество связной воды в селевом потоке в значительной степени зависит также от активности обменных катионов. Больше связной воды будет содержаться в селевом потоке, в котором глинистые минералы насыщены Na, а наименьшее в том, в котором обменный комплекс представлен Ca. В результате специальных исследований, выполненных Е.М. Сергеевым и его учениками, были выявлены закономерности распространения различных глинистых минералов в осадочных породах разного возраста [41]. По содержанию преобладающих глинистых минералов выделено две возрастные группы горных пород: додевонские, характеризующиеся мономинеральным (гидрослюдистым) составом, и последевонские имеющие полиминеральный состав глинистой фракции (среди преобладающих минералов встречаются гидрослюды, монтмориллонит, каолинит). Девонские отложения занимают как бы промежуточное положение; в глинистой фракции этих пород преобладают то гидрослюды, то каолинит. Гидрослюда является самым распространенным среди глинистых минералов, она может встречаться в отложениях любого возраста. Второе место по распространенности занимают минералы группы монтмориллонита. Особенно часто минералы этой группы встречаются в отложениях палеогена, юры, перми и карбона. В четвертичных и неогеновых отложениях содержание их снижается. В породах этой группы нередко содержится большое количество органического вещества, которое играет важную роль в развитии экзогенных геологических процессов. Органическое вещество может быть в виде как неразложившихся остатков растений, так и в виде совершенно нового образования - гумуса [41]. Гумус обладает очень высокой гидрофильностью, что придает породе более пластические свойства, увеличивает ее влагоемкость. Присутствие его в породах даже в очень малом количестве может коренным образом изменить их свойства. Например, небольшая примесь гумуса в тонких песках придает их характерные свойства плывунов, добавка нескольких процентов гумуса снижает их водопроницаемость в сотни раз.

Таблица 1.2

Максимальная влажность набухания в зависимости от активности обменных катионов (по Л.И. Кульчицкому)

Глинистые минералы	Максимальная влажность набухания (по Матсону) % весовые			
	Na′	K′	Mg′	Ca′
Монтмориллонит	844	305	270	250
Монотермит	344	205	180	175
Каолинит	173	170	144	137

Группа осадочных обломочных пород объединяет несвязные породы различного гранулометрического состава: крупнообломочные породы, пески, супеси, суглинки, глины. В этих породах широко развиваются оползневые и селевые процессы. Следует отметить, что содержание в них даже небольшого количества глинистых частиц придает им (особенно крупнообломочным) новые свойства.

В связи с возрастающей инженерной деятельностью и сельскохозяйственным освоением земельных угодий увеличиваются объемы искусственных грунтов. В настоящее время отвалы пустой породы занимают огромные площади, а их мощность может достигать нескольких десятков метров. При строительстве дорог и других коммуникаций делаются насыпи. Искусственные грунты могут иметь разнообразный гранулометрический и петрографический состав. В них могут развиваться разнообразные оползневые экзогенные геологические процессы, в том числе оползни и сели.

В природе отдельные петрографические типы горных пород находятся в парагенезисе между собой и образуют определенные литолого-генетические комплексы, которые в свою очередь составляют геологические формации. Все многообразие формаций можно объединить в три группы: магматические, метаморфические и осадочные. Для каждой группы формаций характерны свои литолого-генетические комплексы пород, в которых по разному протекают различные геологические процессы. Г.А. Голодковская в инженерно-геологических цепях предлагает, следуя за Н.П. Херасковым, выделять три класса формаций: платформенные, геосинклинальные и орогенные [7]. Различия в строении этих трех классов убедительно показаны в работах Н.П. Хераскова и Г.А. Голодковской [7,45].

В настоящее время важнейшей задачей при региональном прогнозировании ЭГП является количественная характеристика подверженности воздействию оползней и селей пород, слагающих определенные формации или стратиграфо-генетические комплексы. Трудность такой задачи заключается в том, что формации или стратиграфо-генетические комплексы слагаются различными по составу и свойствам породами, являются сложно построенными геологическими телами и отличаются большой неоднородностью. Возможными путями решения вопроса формализации количественной характеристики формаций является построение их моделей различной сложности и детализации, в большей или меньшей мере отражающей основные особенности их состава и строения. Такие модели могут быть более общими и частными, применительно только к определенному генетическому типу процессов. Они могут быть однослойными, двухслойными и многослойными. Главное при этом выделить "работающий" слой или элемент формации. Таким, например, может быть прослой глинистых пород в толще скальных пород (песчаников, алевролитов) терригенной формации. Именно он будет определять предрасположенность массива пород к развитию оползневого процесса. Глинистые породы в этом случае играют роль активного элемента, в то время как вмещающие скальные породы являются в этом случае пассивным компонентом.

Значительное влияние на развитие оползней и селей оказывают условия залегания пород, играющие важную роль в процессе их разрушения. Следует различать первичные и вторичные формы залегания горных пород [45]. Первичные формы обусловлены генезисом горных пород, вторичные - деформациями, которые претерпели эти породы в ходе тектонических движений и внедрения магмы. Первичные формы залегания осадочных пород связаны со стратиграфической последовательностью накопления осадков и их неоднородностью. Это выражается в слоистости осадочных пород. Характер слоистости играет большую роль в процессе их разрушения. Наличие в массиве слабопрочных пластов резко снижает их устойчивость. Частое чередование слоев малой мощности, характеризующихся различной устойчивостью к денудационным процессам (например, флиш), также ускоряет ход процессов разрушения. Наоборот, неслоистые и толстослоистые массивы пород более устойчивы к процессам выветривания.

Первичная форма залегания интрузивных пород определяется характером внедрения магмы. Эти породы образуют массивы неправильной формы (батолиты, трещинные интрузии, лакколиты и т.д.). Массивы интрузивных и эффузивных пород в целом более устойчивы к процессам денудации, чем массивы осадочных пород. Первичное залегание горных пород как осадочных, так и магматических, часто нарушено вследствие тектонических движений и вулканической деятельности: в той или иной степени они метаморфизированы, дислоцированы, разорваны крупными разломами, по которым произошло смещение одних блоков по отношению к другим, развиты трещинами на отдельности. Размер отдельностей определяется многими факторами, прежде всего, тектонической структурой массива и литологическим составом пород. Существенное влияние на раздробленность массива оказывают первичные условия залегания горных пород. Наиболее

ослабленными участками являются переклинальные замыкания антиклиналей, испытавшие растяжение. В осевых частях синклиналей также наблюдается повышенная трещиноватость, но в отличие от антиклиналей блоки пород здесь плотно прижаты друг к другу. При вскрытии горных пород денудацией происходит разгрузка напряжений, которая вызывает раскрытие существующих и образование новых трещин. Это в свою очередь облегчает проникновение агентов выветривания в массивы горных пород. В бортах глубоких долин образуются трещины бортового отпора. Последние унаследуют тектонические трещины. По трещинам бокового отпора развиваются огромные оползни и обвалы.

Сильная раздробленность горных пород наблюдается в зонах региональных разломов. Эти зоны характеризуются интенсивным развитием экзогенных геологических процессов. К ним приурочены огромные оползни и обвалы, которые нередко являются очагами зарождения селей. Проявление этих процессов обычно происходит во время землетрясений. Оползни и обвалы нередко вызывают подпруживание долин, что приводит к образованию озер, а последующие обрушения огромных масс горных пород в виде оползней, обвалов или селевых потоков могут вызвать разрушение этих плотин и образование катастрофических паводков и селевых потоков (озеро Иссык – 1963 г., озеро Яшинкуль-1965 г., СССР).

Большое влияние на характер и интенсивность развития ЭГП оказывает направление падения горных пород по отношению к склону. В табл. 1.3 в качестве примера приведена классификация оползней по геологическим условиям развития. На склонах, где падение пород совпадает, развиваются консеквентные оползни, часто в виде смещения пачек пластов по напластованию. Подобные оползни наблюдаются в районе города Сочи – урочище Самшитовая роща (СССР), где пачки песчаников оползают по прослойкам аргиллитов. Нередко наблюдаются случаи, когда пласты более устойчивых к денудации пород бронируют склон и защищают его от дальнейшего разрушения. В тех же самых породах, когда их падение направлено вовнутрь склона, преимущественно развиваются осыпи и мелкие инсеквентные оползни. Очень слабо при прочих одинаковых условиях развиваются оползневые процессы на участках, где пласты пород поставлены "на голову" и их простирание направлено вкрест простирания склона.

В.Н. Саломатин выявил зависимость характера и интенсивности накопления рыхлообломочного материала в селевых водотоках в юго-восточном Крыму – Туакское поднятие (СССР) в зависимости от положения долины по отношению к тектоническим структурам, сложенным таврическим флишем [38]. В том случае, если водоток прорезает моноклиналь, то на склонах, где падение пород направлено во внутрь склона, наблюдается осыпание, обваливание и смыв продуктов выветривания. В связи с неодинаковой устойчивостью различных элементов флиша к разрушению образуются козырьки из более устойчивых пород (песчаников). Аргиллиты разрушаются до состояния суглинков, а песчаники – до щебня и камней. На противоположном склоне слои песчаников защищают более податливые слои аргиллитов от разрушения. У подошвы таких "бронированных" склонов рыхлообломочный материал накапливается очень медленно и в небольшом объеме. Если долина заложена в переклинальном замыкании антиклинали, то падение слоев на обоих склонах направлено вовнутрь склона. Этот случай является самым благоприятным для накопления рыхлообломочного материала в русле водотока. В случае, если водоток проходит в переклинальном замыкании синклинальной складки, то на обоих склонах падение горных пород направлено по склону, оба склона "бронированы", и в русле накапливается незначительное количество продуктов разрушения горных пород. Если слои залегают горизонтально, то разрушение флиша также происходит быстро и с обоих склонов в русло поступает большое количество рыхлообломочного материала. Литологический состав склоновых отложений находится в тесной зависимости от литологии коренных пород, слагающих этот склон. Склоны, сложенные аргиллитами, глинистыми и кристаллическими сланцами, обычно покрыты поверхностными отложениями, в составе которых преобладают мелкие фракции (дресва, песок, пыль и глина), а на склонах, где коренные породы представлены крепкими скальными породами (известняки, магматические породы, песчаники), поверхностные отложения в своем составе содержат большое количество крупнообломочного материала (камней, глыб).

Для каждой геологической формации, для каждого геолого-генетического комплекса горных пород в определенной инженерно-геологической области характерен определенный

Таблица 1.3

Классификация оползней по геологическим условиям развития (по А.И. Шеко)

Группа оползней	Классы оползней	Тип оползней
I. Оползни коренных пород	А. В почти горизонтально залегающих породах	В однородном массиве
		С двухслойным разрезом
		С трехслойным разрезом
	Б. В тектонически дислоцированных породах	С падением пород в сторону склона:
		а) угол падения пород меньше крутизны склона
		б) угол падения равен углу крутизны склона
		в) угол падения пород больше крутизны склона
		С падением пород внутрь склона
		В породах, смятых в мелкие складки
		В зонах тектонического дробления
		С тектоническими трещинами, падающими в сторону склона
		С тектоническими трещинами, падающими во внутрь склона
		В породах, поставленных "на голову"
		а) простирание пород совпадает с простиранием склона
		б) простирание пород направлено вкрест простирания склона
II. Оползни поверхностных отложений	В. В песчано-глинистых делювиальных породах	С падением коренных пород в сторону склона
	Г. В крупнообломочных элювиально-делювиальных породах	С падением коренных пород во внутрь склона

комплекс экзогенных геологических процессов. Особое место занимают процессы выветривания, которые протекают во всех горных породах, но их интенсивность неодинакова в различных геолого-генетических комплексах горных пород.

3. Рельеф

Важнейшим фактором, определяющим интенсивность проявления, а также оказывающим значительное влияние на генетические особенности оползневых и селевых процессов является рельеф. "Рельеф местности, - указывает Е.М. Сергеев, - является одним из важных инженерно-геологических условий. Дело не только в том, что его формы влияют на решение инженерных задач. Рельеф, отражая геологическое строение территории и палеогеодинамическую обстановку, изменяясь под влиянием современных геологических процессов, сам в значительной степени обусловливает их характер" [41].

Влияние рельефа на характер и интенсивность оползней и селей может быть прямым и косвенным [50]. Прямое влияние оказывают крутые склоны, морфология речных долин, уклоны тальвегов. Косвенное воздействие рельефа на развитие процессов проявляется в качестве одного из компонентов географической среды, в значительной мере

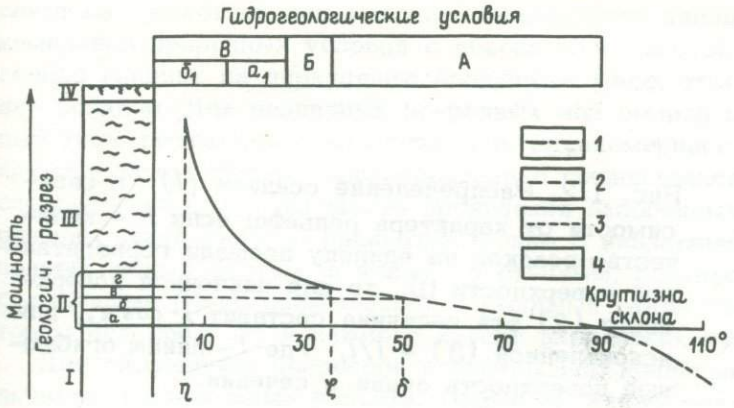


Рис. 1.1. Схема зависимости между крутизной склонов, мощностью и составом покровных образований, гидрогеологическими условиями и типом поверхностных гравитационных смещений (по Е.П. Емельяновой): 1 – зона отсутствия смещений; 2 – зона обвалов; 3 – зона осыпания; 4 – зона поверхностных оползней. I – монолитные невыветрелые коренные породы; II – элювий; а) зона трещин, б) глыбовая зона, в) мелкообломочная зона, г) зона тонкого дробления; II – делювий; IV – почва. А – зона практического отсутствия подземных вод; Б – зона периодического появления подземных вод; В – зона постоянного горизонта грунтовых вод: $а_I$ – прерывистого, $б_I$ – сплошного.

определяющего характер и пространственное распределение циркуляции воздушных масс, атмосферных осадков, температуры, поверхностных и подземных вод, растительного покрова. Необходимым и обязательным условием для развития оползней и селей является перепад высот рельефа, энергия рельефа.

Механизм влияния рельефа на развитие оползневых и селевых процессов является сложным, многогранным и выражается в воздействии на такие важнейшие факторы, как мощность и состав покровных образований, увлажненность территории, энергия и концентрация поверхностного стока, потенциальная энергия и сдвигающие усилия и т.д. Между перечисленными факторами существуют сложные взаимосвязи, характерные для саморегулирующихся систем. Это можно проиллюстрировать схемой Е.П. Емельяновой [13], на которой показана зависимость между крутизной склонов, мощностью и составом покровных образований, гидрогеологическими условиями и типом гравитационных смещений (рис. 1.1). Схема показывает, что в зависимости от крутизны склона могут присутствовать элювиально-делювиальные отложения определенного гранулометрического состава и мощности, которые в свою очередь обусловливают развитие того или иного процесса. Так, склоны с отрицательным уклоном могут образовываться только в невыветрелых породах. Выветривание пород и возникновение в них трещин вызывает развитие обвальных процессов, продолжающихся до тех пор, пока не начнет формироваться мелкообломочная зона выветривания, с которой связаны осыпные процессы. Осыпание продолжается до тех пор, пока угол склона не станет равным углу естественного откоса осыпного материала, и обломочный материал не прекратит движения вниз по склону. В результате затухания осыпания образуется зона тонкого дробления и начинается формирование делювия, который является средой для развития оползневых процессов. Чем больше мощность покровных образований для данного значения крутизны склона, тем выше вероятность возникновения оползней. Таким образом, крутизна склонов является важнейшим индикатором состава и мощности покровных образований, а также, соответственно, генетического типа склоновых процессов.

Не менее сложным является влияние рельефа на оползни и сели, реализующееся через общую увлажненность территории. Важнейшими параметрами при этом являются уклоны и расчлененность рельефа. При прочих равных условиях, чем больше уклон территории и выше ее расчлененность, тем меньше возможность увлажнения покровных пород. Это связано с тем, что при увеличении уклонов и расчлененности количество осадков на единицу площади территории уменьшается (рис. 1.2), а возможность их стока увеличивается и, соответственно, ухудшаются условия для инфильтрации. С другой стороны, увеличение уклона приводит к возрастанию общих сдвигающих усилий или касательных напряжений, равных $P.\sin\alpha$, где: P – масса массива пород (оползневых). Известно, что соотношение сдвигающих усилий и сопротивления сдвигу определяет устойчивость склона. Чем ближе по значениям эти величины, тем больше вероятность возникновения склоновых процессов. Экспериментально установлено [21],

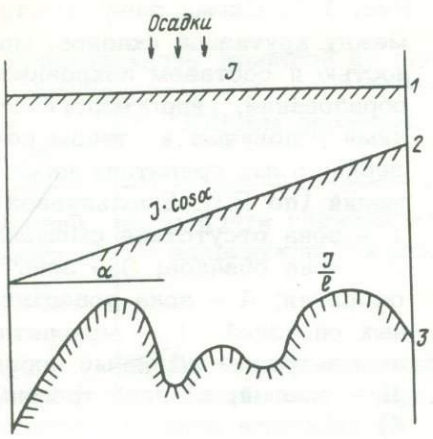


Рис. 1.2. Распределение осадков *(J)* в зависимости от характера рельефа: если J – количество осадков на единицу площади горизонтальной поверхности (1), то для наклонной поверхности (2) эта величина составит $J \cdot \cos\alpha$, для искривленной (3) – J/l, где l – длина огибающей поверхность линии в сечении.

что чем больше крутизна склона, тем меньше значения критических (размывающих) скоростей для одних и тех же по составу крупнообломочных пород, тем ниже величина полной энергии потока, необходимой для размыва и транспортировки единицы объема пород. При довольно большой крутизне склона достаточно незначительного сдвигающего усилия, создаваемого поверхностным стоком, чтобы увлечь обломочный материал. При этом его потенциальная энергия переходит в кинетическую, увеличивая энергетический потенциал потока, что приводит к захвату все большего количества обломков, больших по размеру. Этот процесс носит лавинный характер. В результате эрозионный процесс в случае наличия достаточно большого количества обломочного материала может перейти в селевой.

Значительное влияние на распространение и характер проявления оползней и селей оказывает расчлененность территории. Достаточно сказать, например, что на Европейской территории СССР подавляющее большинство оползней приурочено к склонам речных долин [28] и овражной сети, а в пределах Горного Крыма на протяжении 10 последних лет более половины действующих оползней были вызваны эрозией [25]. Чем гуще эрозионная сеть, тем выше вероятность возникновения оползневых процессов. В горных районах интенсивная разномасштабная расчлененность склонов верховьев рек создает благоприятные условия для накопления твердой составляющей селей за счет процессов выветривания, осыпания, оползания, микроструйчатой и склоновой эрозии. Чем больше расчлененность, тем больше активная площадь поверхности пород, являющихся источником твердого материала для селевых процессов.

Особо следует остановиться на значении возраста рельефа в проявлении экзогенных геологических процессов. Активность проявления экзогенных геологических процессов при прочих равных условиях зависит от возраста склонов. Более активно развитие их происходит на более молодых склонах. Это положение хорошо показано А.И. Шеко на примере развития оползневых склонов Черноморского побережья Крыма и Кавказа. Основные общие закономерности развития оползневых склонов могут быть сформулированы следующим образом:

а) зарождение оползневого склона (ложбины), как и другой любой геоморфологической поверхности происходит у базиса оползания (местного базиса денудации); б) развитие оползневых склонов (ложбин) идет снизу вверх, по мере продвижения головной части оползня вверх по склону, подвижками захватываются все новые и новые участки, расположенные выше цирка; в) продвижение цирка оползня вверх по склону продолжается до тех пор, пока он достигнет крепких пород, в которых оползневой процесс не может развиваться, или пока не будет выработан профиль равновесия; г) при прочих равных условиях активность оползневых процессов на древних склонах меньше, чем на молодых, а также активность оползневых процессов больше в головной части оползневых склонов, чем в языковой.

Кроме непосредственного, прямо направленного и, в известной мере, детерминированного воздействия рельефа на характер и интенсивность проявления оползней и селей и факторы, их определяющие, следует отметить его значительное общее влияние на распределение тепловой и других видов энергии, а также влаги во всех формах на поверхности земли. Сказанное, прежде всего, относится к горному рельефу, обусловли-

вающему существование высотной зональности ландшафтов, т.е. тесную связь всего комплекса природных условий с абсолютной высотой местности. Горы, оказывая существенное влияние на циркуляцию воздушных масс, тем самым контролируют распределение осадков. Для различных природных зон земной поверхности характерны определенные типы высотной зональности, т.е. закономерного сочетания высотных ландшафтно-климатических поясов, последовательно сменяющихся от подножия гор к вершинам, а следовательно, и особенности проявления экзогенных геологических процессов. Формирование селей связано преимущественно с нивальными и нижним ярусом альпийского поясов горных систем, а также со степным, полупустынным и пустынным поясами, сложенными легко размываемыми рыхлыми отложениями. Оползневые процессы характерны для среднего и нижнего ярусов альпийских лугов.

Для оползневых процессов известны определенные количественные связи с различными параметрами рельефа. Примером могут служить многочисленные теоретические зависимости, разработанные для оползневых склонов: условия предельного равновесия для плоских откосов Д.Тейлора, теоретическая зависимость предельной мощности слабого слоя от крутизны склона и т.д., подтвержденные наблюдениями и экспериментально.

Анализ имеющихся данных о количественных связях и зависимостях между различными параметрами рельефа и оползневых процессов для различных регионов СССР показывает очень широкий диапазон геоморфологических условий проявления, но тем не менее, существуют определенные закономерности. Важнейшей характеристикой рельефа является крутизна склонов, которая оказывает влияние и на механизм и на интенсивность проявления оползневых процессов. Анализ существующих материалов по этому вопросу показывает, что оползневые процессы встречаются на склонах крутизной от 3–7° (оползни тиксотропного разжижения) до 50–60°, но в зависимости от конкретных геологических условий для каждого случая (региона, района, склона) существует сравнительно узкий интервал значений, характеризующийся наибольшей вероятностью проявления оползней. Интересные данные о влиянии высоты и крутизны склонов на максимальные объемы оползней в палеозойских песчаниках и сланцах долин боковых притоков среднего Зеравшана (Таджикистан, СССР) приводятся В.С. Федоренко. Установлено, что в данном регионе склоны становятся оползневыми при крутизне более 30° и высоте, превышающей 500 м. Чем больше высота, крутизна и выпуклость склонов, тем больше объемы оползней и оползней-обвалов. При высоте их от 1000 м и больше и крутизне, превышающей 30°, объемы рассматриваемых явлений достигают десятков и первых сотен миллионов кубометров, при меньшей высоте не превышают 10 – 20 млн.м^3.

По данным Р.А. Ниязова и др., оползни различных типов в Чаткало-Кураминской зоне встречаются на склонах крутизной от 10 до 55°, основное их количество приурочено к интервалу крутизны склонов 25–40° [35].

4. Климатические условия

Под климатическими условиями понимается режим тепла и влаги, при котором происходит развитие и активизация экзогенных геологических процессов, изменяющийся как в пространстве (в зависимости от типа климата и региональных особенностей территории), так и во времени. Климатические условия относятся к группе основных изменяющихся факторов, которые определяют режим действия производных факторов, а в конечном счете – режим проявления экзогенных геологических процессов. Климатические условия реализуются через определенный тип погоды, характеризуемый соответствующим комплексом метеорологических показателей. Основными метеорологическими показателями, отражающими тип погоды, благоприятной для развития оползневого и селевого процессов, являются: количество осадков, режим их выпадения, режим температуры воздуха. В оползневом и селевом процессах повышенное количество осадков и определенный режим их выпадения способствуют нарушению устойчивости склонов. Обычно наблюдается довольно тесная связь периодов активизации оползней с периодами повышенных значений различных показателей атмосферных осадков. Например, коэффициент корреляции между ежегодными смещениями Доломийского оползня в юго-западном Кры-

му и годовым количеством осадков в Ялте составляет 0,6 – 0,8. Исследование влияния режима увлажнения на активизацию оползневого процесса, проведенное Р.А.Ниязовым и др. на горных склонах Чаткало-Кураминской зоны в лессовых породах, показывает, что наиболее значительное нарушение устойчивости склонов происходит вследствие ливневых осадков, увлажняющих породы по трещинам, служащим естественными водосборниками атмосферных осадков [35]. Продолжительные дожди, вызывающие глубокую инфильтрацию и обводнение пород, особенно опасны для рыхлых глинистых пород. При этом в результате изменения влажности повышается плотность пород (иногда на 20–30%) и уменьшается сопротивление сдвигу (иногда на 50% и более), что может привести к потере устойчивости [39]. Для развития селевого процесса в эрозионных очагах из метеорологических показателей также наиболее важными являются количество осадков, режим их выпадения (обложные или ливневые, интенсивность осадков, чередование влажных и засушливых периодов) и режим температуры воздуха. Однако механизм влияния факторов, отражаемых этими показателями, в эрозионных очагах отличается. Ими обусловливаются интенсивность выветривания и смыва, а также наиболее значительные расходы водотоков, при которых обеспечивается размыв русловых отложений.

Режим и степень увлажнения территории, режим температуры воздуха, а, соответственно, и наиболее общие черты оползневого и селевого процесса, будут отличаться в районах с разным климатом. Каждый тип климата на земном шаре характеризуется определенным комплексом признаков. Соответственно климатическому районированию Б.П. Алисова [1], выделяются следующие климатические пояса и типы климата, отличающиеся по режиму тепла и влаги: а) экваториальный; б) экваториальных муссонов; в) тропический; г) субтропический, д) умеренный; е) субарктический; ж) арктический. Для арктического и субарктического поясов характерны очень продолжительные, суровые зимы (средняя температура января до -30°) и короткое холодное лето. В этих условиях основной фактор разрушения горных пород – морозное выветривание, а снос продуктов разрушения происходит в виде стекания пропитанного водой грунта, наблюдающегося в теплое время года [1]. В холодном климате интенсивно протекает физическое выветривание и накопление рыхлообломочного материала с небольшим количеством мелкозема [50]. В умеренном поясе развитие экзогенных процессов зависит, главным образом, от степени увлажнения территории. Так, в степных и полупустынных районах (годовое количество осадков 200–400 мм) создаются более благоприятные условия для развития селевого процесса, например, в юго-восточном Крыму, и худшие для развития оползневого процесса по сравнению с лесной зоной (годовое количество осадков 400–600 мм), где интенсивность развития селевого процесса ослабляется густой растительностью (например, в Карпатах). В степных и полупустынных районах в развитии экзогенных геологических процессов большую роль играют временные водотоки, вызываемые интенсивными ливнями, оказывающими большое размывающее действие [1]. В субтропическом поясе условия для развития оползневого и селевого процессов существенно отличаются в различных климатических областях. Так, количество осадков, необходимое для формирования селей, значительно больше в условиях влажного субтропического климата (Черноморское побережье Кавказа), чем в условиях сухого (например, юго-западный Крым). В то же время, как на Кавказе, так и в Крыму, экстремальные суточные осадки вероятнее в наиболее влажные годы. В условиях сухого субтропического климата выветривание и снос продуктов разрушения протекает различно в холодную, относительно влажную часть года и в сухое, жаркое лето. В зимние месяцы, в зависимости от характера погоды, могут создаваться благоприятные условия как для физического, так и для химического выветривания. Летом под действием больших суточных амплитуд температуры поверхности преобладает физическое выветривание. В районах с теплым и влажным климатом преобладает химическое выветривание. Горные породы подвергаются более глубоким изменениям, в результате которых образуются новые минералы, среди которых глинистые играют основную роль [50].

Изменения погоды и климата на Земле подчиняются определенным закономерностям и поддаются количественному учету. Для количественного выражения некоторых особенностей циркуляции атмосферы – важнейшего климатообразующего фактора – можно ис-

пользовать различные типизации атмосферных процессов, например Г.Я. Вангенгейма – А.А. Гирса [6], Б.Л. Дзердзеевского и др. [9, 10, 52–58]. На основе анализа ежедневных синоптических карт Европы, составление которых началось в 1891 г., Г.Я. Вангенгейм в 1939 г. выделил в пределах Атлантико–Евразийского сектора северного полушария три основных типа макроформ атмосферной циркуляции – W,E,C.

Макроформа W характеризует зональный западный перенос воздушных масс, а макроформы E и C – меридиональный. При меридиональных макроформах атмосферной циркуляции на пути западного переноса возникают блокировки в виде гребней высокого давления, это вызывает изменения направления переноса воздушных масс и усиление обмена между воздушными массами низких и высоких широт северного полушария.

В 1948 г. А.А. Гирс выделил три аналогичные макроформы атмосферной циркуляции для Тихоокеанско–Американского сектора: зональную (З) и две меридиональные (M_1 и M_2). Таким образом, общее состояние атмосферной циркуляции в северном полушарии на любой момент времени может быть охарактеризовано по этой типизации сочетанием одного из трех типов макроформ в первом (Атлантико–Европейском) секторе и одного из трех типов макроформ – во втором (Тихоокеанско–Американском), т.е возможны следующие девять сочетаний:

$$W_З, W_M, W_{M_2}; E_З, E_M, E_{M_2}; C_З, C_M, C_{M_2}.$$

Для изучения режима оползневого, селевого и некоторых других экзогенных геологических процессов (выветривания, эрозии обвалов, осыпей, лавин и др.) целесообразно воспользоваться типизацией макроциркуляционных процессов, разработанной Б.Л.Дзердзеевским, В.М. Курганской и З.М. Витвицкой [9]. В отличие от других, эта типизация рассматривает циркуляционные процессы на всем северном полушарии, от полюса до экватора. В ней в равной степени освещаются территории, расположенные на разных параллелях и меридианах без предпочтения какому–либо региону, а также учитываются сезонные преобразования атмосферной циркуляции. Важно также, что к настоящему времени опубликован календарь последовательной смены макропроцессов в этой типизации с 1899 по 1979 гг., позволяющий составить достаточно длинные и представительные временные ряды, имеющие важное значение при прогнозировании.

В основу указанной типизации, разработанной на основе анализа ежедневных синоптических карт северного полушария (с 1899 по 1948 гг. американские "исторические" карты – Historical weather maps. Dayly sinoptic series, с 1949 г. – карты, публикуемые центральным институтом прогнозов – Гидрометеорологическим центром СССР), положено направление и количество арктических вторжений (блокировок) и выходов южных циклонов на всем северном полушарии, нарушающих зональную циркуляцию. Б.Л. Дзердзеевским выделено 13 типов циркуляции, которые обозначаются арабскими цифрами от 1 до 13. Варианты каждого типа (а их может быть несколько) обозначаются первыми буквами алфавита. Они показывают детальные различия в направлении блокировок или выходов южных циклов внутри данного типа циркуляции. Кроме того, выделяются летние (л) и зимние (з) разновидности циркулярных механизмов. Всего выделен 41 элементарный циркуляционный механизм (сокращенно – ЭЦМ), которые по числу блокировок на северном полушарии подразделяются на 4 группы:

1. Зональная циркуляция (1–2 типы, рис. 1.3а). Блокировки отсутствуют, 2 или 3 выхода южных циклонов.

2. Нарушение зональной циркуляции (3–7 типы, рис. 1.3б). Одна блокировка в каком–либо секторе северного полушария; от 1 до 3 прорывов южных циклонов в разных секторах.

3. Меридиональная северная циркуляция (8–12 типы, рис. 1.3в). От 2 до 4 одновременных блокировок и 2–4 выхода южных циклонов в разных секторах северного полушария.

4. Меридиональная южная циркуляция (тип 13, рис. 1.3г.) Блокировки отсутствуют; от 2 (ЭЦМ 13з) до 4 (ЭЦМ 13л) прорывов южных циклонов, проникающих в Арктический бассейн.

К зональным формам циркуляций Б.Л. Дзердзеевский относит ЭЦМ от 1 до 7 типа, а к меридиональным – от 8 до 13.

Продолжительность действия одного макропроцесса в среднем за 80 лет (1899–1978 гг.) составляет 3,5 суток при колебаниях от 1 до 11 суток. В современный

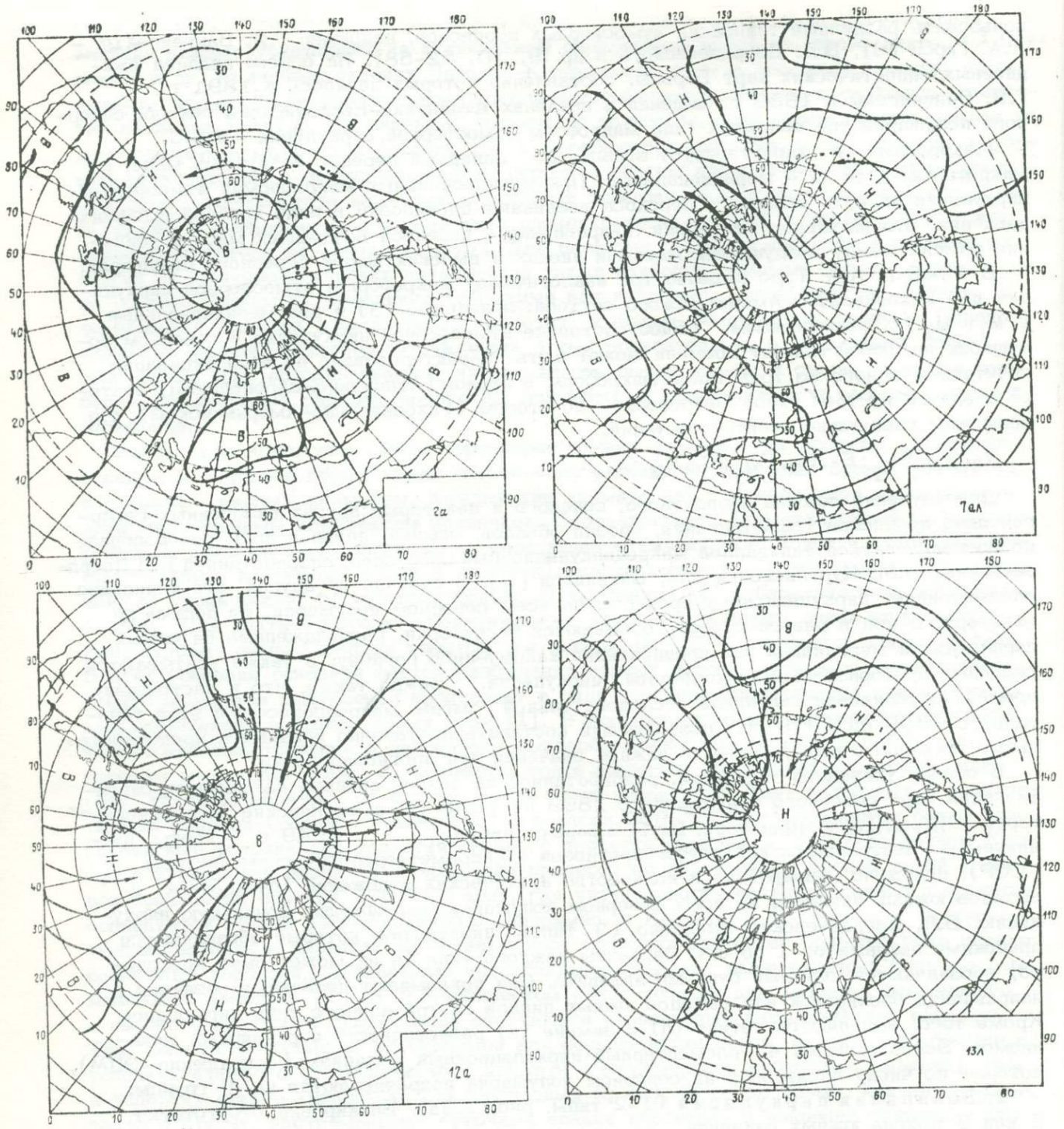


Рис. 1.3. Типовые схемы ЭЦМ (по Б.Л. Дзердзеевскому): а) зональная циркуляция, ЭЦМ, 2а; б) нарушение зональности, ЭЦМ 7 ал; в) меридиональная северная, ЭЦМ 12а; г) меридиональная южная, ЭЦМ 13 л. В – высокое атмосферное давление; Н – низкое атмосферное давление, сплошные черные стрелки– пути циклонов; незаштрихованные стрелки–направление арктических вторжений.

период циркуляционные механизмы стали чаще сменять друг друга. С частой сменой ЭЦМ связаны резкие колебания погоды, что способствует активизации многих генетических типов ЭГП.

Наибольшее влияние на погоду и климат различных регионов оказывают те макропроцессы, которые повторяются наиболее часто, и суммарная продолжительность которых в среднем за год или сезон наибольшая (ЭЦМ 10а, 10б, 11а, 12а, 12бз,

12бл, 12г, 13з, и 13л). Эти макропроцессы отличаются и наибольшей амплитудой многолетних колебаний суммарной за год продолжительности действия в днях [24].

Соответственно, они определяют и многолетний режим экзогенных геологических процессов. Подобная типизация макроциркуляционных процессов, основанная на тех же принципах, разработана П.Д. Астапенко для южного полушария [11]. Б.Л. Дзердзеевским [59] обнаружена синхронность блокирующих процессов (арктических вторжений) в обоих полушариях. Ссылаясь на карты пространственного распределения вариаций атмосферного давления над северным и южным полушариями в одиннадцатилетнем солнечном цикле, Б.Л. Дзердзеевский показывает планетарный характер упомянутых вариаций. Очевидно и многолетние колебания циркуляции атмосферы и климата, а, следовательно, и интенсивность экзогенных процессов обоих полушарий тесно связаны между собой. Известно, что указанные выше 4 группы атмосферной циркуляции характеризуются периодами повышенной и пониженной повторяемости по сравнению со средним значением. Эти периоды названы Б.Л. Дзердзеевским циркуляционными эпохами [10]. За период наблюдений (1899 - 1979 гг.) выделяются следующие три циркуляционные эпохи (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Циркуляционные эпохи в северном полушарии в XX столетии

Эпохи	Краткая характеристика (по преобладающей циркуляции)	Начало (десятилетие)	Конец (десятилетие)	Продолжительность, годы
I	Меридиональная северная	1880-1889 гг. (по данным реконструкции)	1911-1920 гг.	30
II	Зональная	1912-1921 гг.	1951-1960гг.	40
III	Меридиональная южная	1952-1961гг.	Продолжается по настоящее время	

Каждая циркуляционная эпоха характеризуется определенным набором преобладающих ЭЦМ, продолжительность которых за год превышает среднюю многолетнюю величину. Например, современная меридиональная эпоха отличается наибольшей продолжительностью меридиональных южных процессов 13з, 13л. При ЭЦМ 13л отмечается четыре одновременных выхода южных циклонов: I - вдоль берегов Северной Америки; II - с Атлантического океана через Западную Европу в Арктический бассейн; III - со Средиземного моря через Каспийское и Среднюю Азию на Западную Сибирь; IV - из Забайкалья, Дальнего Востока, Тихого океана в Восточную Сибирь. В циклических областях при этом ЭЦМ наблюдается теплая и дождливая погода, а в соседних, антициклонических, сухая и жаркая. Чаще всего ЭЦМ 13л встречается в июле и в августе.

Для ЭЦМ 13з характерны 2 основных выхода южных циклонов с Тихого и Атлантического океанов. Вместе с тем, активизируется циклоническая деятельность в других регионах, в частности развиваются и перемещаются на Европейскую часть СССР Средиземноморские циклоны, с которыми связано резкое повышение температуры и обильные осадки в умеренных широтах, обычно в виде снега. Максимальная повторяемость ЭЦМ 13з приходится на декабрь. Повышенное развитие в последние десятилетия ЭЦМ 13 типа нашло отражение в режиме температуры и осадков северного полушария, что существенно отразилось и на режиме экзогенных геологических процессов.

Так, в Средней Азии, в бассейнах рек Сырдарьи и Нарына, в третьей циркуляционной эпохе 72% всех наблюдавшихся селей связано с меридиональными ЭЦМ, а 10% из них (по сравнению с 2% во II эпохе) связано с южной меридиональной циркуляцией (13з и 13л) - рис. 1.4.

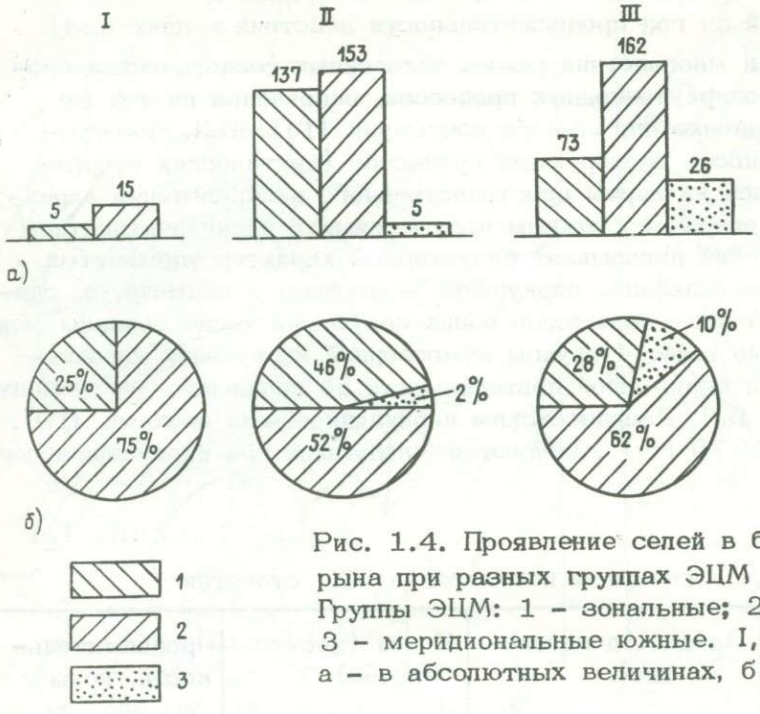


Рис. 1.4. Проявление селей в бассейнах рек СырДарьи и Нарына при разных группах ЭЦМ по циркуляционным эпохам. Группы ЭЦМ: 1 – зональные; 2 – меридиональные северные; 3 – меридиональные южные. I, II, III – циркуляционные эпохи; а – в абсолютных величинах, б – в процентах

В горных районах Крыма и Кавказа, прилегающих к Черноморскому побережью СССР наибольшее число случаев прохождения селей за последние десятилетия связано с ЭЦМ 13л – 35%. В районах, характеризующихся наличием многолетнемерзлых пород, погода при ЭЦМ 13л обеспечивает не только значительное переувлажнение, но и протаивание пород, создающие условия для активизации оползневого и селевого процессов. Повышенное увлажнение и температурные аномалии могут быть связаны и с рядом других ЭЦМ, но и их относительное значение невелико. Более полная картина описывается нами в ряде работ, где рассмотрен многолетний ход осадков в различных регионах: в Западной и Восточной Сибири, Средней Азии, на Черноморском побережье СССР [23, 24] установлена связь осадков с различными макроциркуляционными процессами и выявлены ЭЦМ, приносящие наибольшее количество осадков (осадкообразующие). Материалами для выделения осадкообразующих ЭЦМ послужили данные ежедневных наблюдений за осадками в разных регионах за период наблюдений не менее 10–20 лет, относящиеся к разным циркуляционным эпохам. Сначала на всех выделенных метеостанциях суммировались осадки по отдельным ЭЦМ. Затем определялось среднее количество осадков при каждом ЭЦМ помесячно. Вероятность выпадения осадков подсчитывалась как отношение числа дней с осадками к общей продолжительности действия ЭЦМ в каждом месяце. Осадкообразующими считались ЭЦМ с вероятностью выпадения осадков более 60%, приносящие в сумме не менее 50% месячного количества осадков.

Каждому региону свойствен определенный набор осадкообразующих ЭЦМ (табл. 1.5), меняющийся от месяца к месяцу в зависимости от сезонной принадлежности макропроцессов.

Таблица 1.5

Осадкообразующие макропроцессы в различных районах СССР

№№ пп	Регион	Осадкообразующие ЭЦМ
1	2	3
1.	Европейский центр	1а, 2а, 2б, 2в, 3, 4а, 4б, 4в, 5г, 7ал, 7аз, 7бз, 7бл, 8а, 8бз, 8вл, 8гл, 9а, 9б, 11а, 11б, 11в, 11г, 12а, 12бэ, 12вз, 12г, 13э, 13л.
2.	Север Сибири	1а, 1б, 4а, 7аз, 7бз, 9б, 10а,
3.	Западная Сибирь	3, 7ал, 7бз, 8а, 9а, 10а, 11а, 11б, 11в, 12бз, 12вз, 13э, 13л

Продолжение таблицы 1.5

1	2	3
4.	Северный Казахстан	3, 7ал, 8а, 9а, 10а, 10б, 11а, 11б, 12бз, 12вз
5.	Предбайкалье	2а, 2в, 3, 7ал, 8а, 10а, 13э, 13л
6.	Забайкалье	4б, 8гз, 8бз, 8гл, 10б, 12бз, 12бл, 12вл
7.	Крым (Черноморское побережье)	5б, 7ал, 8а, 9а, 10а, 11б, 12бл, 12г, 13л
8.	Кавказ (Черноморское побережье)	2а, 2б, 3, 4б, 4в, 5а, 5б, 6, 7аз, 7ал, 7бз, 8а, 9а, 10а, 11а, 11б, 11в, 11г, 12а, 12бл, 12вз, 12г, 13з, 13л
9.	Средняя Азия	2а, 2в, 4б, 7аз, 7ал, 7бз, 8а, 8вл, 8гл, 10а, 11а, 11б, 11в, 11г, 12а, 12вл, 12бз, 12вз, 13в, 13л

В связи с тем, что режим оползневого и селевого процессов обусловлен соответствующим характером погоды, очевидно, что развитие оползневого процесса и формирование селей связано с определенными циркуляционными механизмами (ЭЦМ), преобладанием которых обусловлена погода в данном районе [24]. Многолетний режим оползневого процесса и селевого в оползневых очагах будет обусловлен в значительной степени режимом осадкообразующих ЭЦМ, характерных для данного региона, например, на Карпатах, в бассейнах рек Прута и Днестра – ЭЦМ 7ал, 10а; на Дальнем Востоке – 13л, 12а, 7ал, 9а. В эрозионных очагах формирование селей связано с погодой при ЭЦМ 9а, 13л (в Крыму); 13л, 12а, 2а – на Кавказе, в бассейне Черного моря, и т.д., т.е. с ЭЦМ, при которых возможны наиболее интенсивные ливни или повторяемость ливней.

5. Гидрологические условия морских берегов

Гидрологические условия морских берегов следует рассматривать как совокупность влияния внутригодовой и многолетней изменчивости штормов и уровней на развитие абразии как одного из факторов оползневого процесса. Влияние уровня моря на активность оползней заключается в увеличении глубины моря в береговой зоне, что способствует уменьшению потерь энергии волны, а также сокращение ширины пляжа и уменьшению пути пробега волны от уреза до основания клифа. Влияние изменения уровня моря, обусловливающего попеременное увлажнение и высушивание клифа, особенно сильно сказывается на разрушение оползневых накоплений, сложенных рыхлыми породами.

Внутригодовой ход уровня моря от года к году имеет неравномерный характер. Его среднемесячная изменчивость как во времени, так и по районам, определяется стоком рек, количеством атмосферных осадков и сгонно-нагонными явлениями. Последние возникают под воздействием волн и ветра и проявляются на фоне общего хода уровня (особенно сильно это влияние на оползни мелководных берегов бухтового типа). У приглубых берегов влияние внутригодовой изменчивости уровня незначительно (здесь главную роль играет штормовая активность моря). Внутригодовое распределение колебаний уровня замкнутых морей, например, Черного моря, определяется соответствующим распределением стока крупных рек. Коэффициенты корреляции колебаний стока рек и соответствующих колебаний уровня моря по отдельным пунктам составляют 0,88 – 0,92. В связи с этим максимальные месячные многолетние уровни этого моря приходятся на май-июнь (на период паводков). Абсолютные значения уровня не одинаковы в разных районах. В сезонном ходе уровня отмечается и второй пик зимой (ноябрь-февраль), связанный со штормовой активностью моря, но выражен он слабее.

Многолетний режим уровня моря является отражением его сезонного распределения и определяется в основном изменением водного баланса и современными тектоническими движениями и эвстатическим подъемом. По многолетнему ходу уровня в отдельных районах побережья можно судить о тектонических движениях на побережье. Например,

для отдельных пунктов Черного моря относительный подъем уровня за 103 года составил от 7 до 60 см.

Помимо векового хода уровня моря, связанного с опусканием побережья, и его эвстатическим подъемом, имеют место довольно значительные колебания, происходящие почти одновременно по всем пунктам, но с различной амплитудой, которая зависит от внутригодового распределения уровня. На фоне крупных вековых колебаний уровня (с периодами в 103, 96, 63 года, амплитудами 3; 3,5 м) отмечаются более мелкие циклы, продолжительностью 20–30 лет, 12–14, 9, 4, 5, с более низкими амплитудами. Наиболее информативным можно считать период продолжительностью 5 лет. Исследование пространственно-временной изменчивости уровня методами корреляционно-регрессионного и гармонического анализа позволит выявить районы с одинаковым режимом уровня и дать его долговременный прогноз.

В результате анализа влияния штормовой активности моря на режим оползневых процессов установлено, что наиболее тесная связь оползней наблюдается со штормами силой более 5,6, 8, баллов (т.е. с высотой волны соответственно более 1,26 м, 2,01 м, 3,01 м, 5,02 м). Анализ внутригодового распределения волнения проводился с целью районирования побережья по штормовой изменчивости моря в связи с установлением периода наибольшей активности оползневого процесса. Распределение сильного волнения внутри года имеет четко выраженную сезонность. Например, в сезонном ходе волнения Черного моря можно отметить два экстремума: усиление штормовой активности зимой – с ноября по апрель и снижение ее летом – май–июнь [22]. Экстремумы несколько смещаются от района к району, что связано с климатическими особенностями побережий.

Многолетний режим волнения моря от района к району определяет степень влияния штормов на активность оползневых процессов. В основу районирования побережий по штормовой активности положено распределение повторяемости волнения по баллам за многолетний период. Причем, повторяемость рассчитывается для волнения более 5 баллов, так как штормы меньшей силы не вызывают абразии берегового уступа. Сектор обзора, глубина прибрежной зоны определяют направление в силу штормов в каждом районе. Большое влияние на активность оползней оказывает ориентация берега и повторяемость штормов, направленных под разными углами к берегу, поэтому наряду с расчетом повторяемости по силе штормов делается расчет распределения повторяемости волнения по румбам. За весь период наблюдений рассчитывается обеспеченность случаев волнения для каждого направления (румба) в процентах. Это в конечном итоге дает возможность судить о разрушающей силе штормов различных румбов. Многолетний ход энергии сильного волнения в общих чертах сходен с ходом волнения, выраженного в числах случаев, но корреляционный анализ временных рядов отступания берегового уступа и энергии сильного волнения показал, что коэффициент множественной корреляции повышается при введении в характеристику абразии энергии штормов. Поэтому с целью увеличения достоверности прогнозов оползней, для каждого из опорных пунктов наблюдения, следует делать расчет энергии волнения. Изменчивость волнения по годам и от района к району выявляется при гармоническом анализе волнения более 5 и 6 баллов. Характеристики гармоник (амплитуда, период и представительность) определяются по районам. Для районов берега, где наблюдается значительная штормовая деятельность моря, амплитуда большинства гармоник превышает их значения для других берегов. Изменчивость волнения и уровней моря обусловлены особенностями погоды, которые в свою очередь тесно связаны с особенностями циркуляции атмосферы.

Циркуляционные процессы имеют сезонный характер. Зимой южная половина Европейской территории Советского Союза находится под влиянием сибирского, а летом азорского максимума. В холодный период непосредственно над южными морями СССР простирается отрог континентального антициклона, способствующего возникновению здесь значительных градиентов давления, что в свою очередь обусловливает господство в это время года восточных и северо-восточных ветров, приносящих холодный воздух умеренных широт и определяющих штормовую погоду в мае. Здесь в теплое время года активизируется азорский максимум, отрог которого простирается в июле–августе. В этот период преобладает устойчивая ясная погода с преимущественной циркуляцией воз-

душных масс в широтном направлении, что способствует незначительной повторяемости сильных штормов [2]. Штормовая деятельность Черного моря в большей степени обуславливается циклоническими образованиями, приуроченными к холодному периоду. Причем максимальная повторяемость циклонов наблюдается в ноябре–марте (64%), т.е. в период с наибольшим развитием штормов. В этот период возникают значительные контрасты давления и температур воздуха, обуславливающие сильнейшие штормы, связанные в основном с меридиональным переносом воздушных масс (ЭЦМ 8–13). В 70% случаев именно при этих ЭЦМ возникают сильные штормы. Наибольшее количество штормов силой более 5 баллов возникает при ЭЦМ с типами 11а, 12з и особенно 12а. Последний тип чаще всего развивается весной. Связь меридиональных ЭЦМ с сильными штормами можно обнаружить как при сопоставлении их ежедневных значений, так и при анализе интегрально–разностных кривых годовых значений этих параметров. Например, экстремальные по силе (т.е. 1% обеспеченности) штормы 1969 г., вызвавшие сильные разрушения на Черном море, были связаны с ЭЦМ 12а, который имел наибольшую повторяемость за весь период наблюдений (в два раза выше нормы). С целью изучения влияния ЭЦМ на изменчивость уровней использовались его экстремальные месячные значения, для которых проводился анализ ЭЦМ в период, предшествующий экстремуму и в момент экстремума. Самые высокие уровни приурочены к определенным ЭЦМ. Анализ режима атмосферной циркуляции и уровневого режима для Черного моря показал отсутствие существенных связей между ними, поскольку изменчивость уровня моря является интегральным показателем. Он определяется расходами рек со всей Европейской территории СССР, осадками, ветрами, вызываемыми различными синоптическими ситуациями, происходящими в атмосфере и т.д.

В заключение следует отметить, что гидрологические условия морей определяются особенностями атмосферной циркуляции. Возникновение сильных штормов, способствующих активизации оползневых процессов, связано с определенными ЭЦМ (11а, 13з, 12а). В зависимости от влияния внутригодовой и многолетней штормовой активности моря на режим оползневых процессов устанавливаются сезоны и периоды наибольшей активизации процесса для каждого района берега. Влияние уровня моря на активность оползневого процесса выявляется при анализе его изменчивости по районам как внутри года, так и за многолетний период.

6. Гидрогеологические условия

Под гидрогеологическими условиями понимаются условия залегания подземных вод – характер вмещающих пород, форма и глубина залегания, направление движения и характер разгрузки; особенности режима подземных вод – изменение уровней, расходов; температура и химический состав подземных вод. Имеются существенные различия во влиянии гидрогеологических условий на развитие оползневых и селевых процессов, поэтому имеет смысл рассмотреть его отдельно для каждого процесса.

Оползни

Следует отметить, что влияние гидрогеологических условий на оползневые процессы изучалось многими исследователями. Прежде всего, необходимо назвать работы Е.П. Емельяновой [13], Г.С. Золотарева и др. [15, 17], а также ряд интересных исследований о роли подземных вод в образовании и развитии оползней, выполненных для горно–складчатых областей Средней Азии Р.М. Никитиным и И.Ф. Фиделли [16].

Е.П. Емельянова детально рассмотрела механизм воздействия подземных вод на оползни, выделив различные формы их влияния [рис. 1.5]. По ее мнению, "подземные воды влияют и на величину напряжений и на прочность пород". При этом выделяются несколько категорий оползней в зависимости от степени влияния на них гидрогеологических условий, от оползней со значительным воздействием на них подземных вод до оползней, не связанных с подземными водами. В целом отмечается, что влияние подземных вод на оползневые процессы значительно в тех случаях, когда зона оползневых деформаций проходит в водоносных породах и относительно невелико, когда

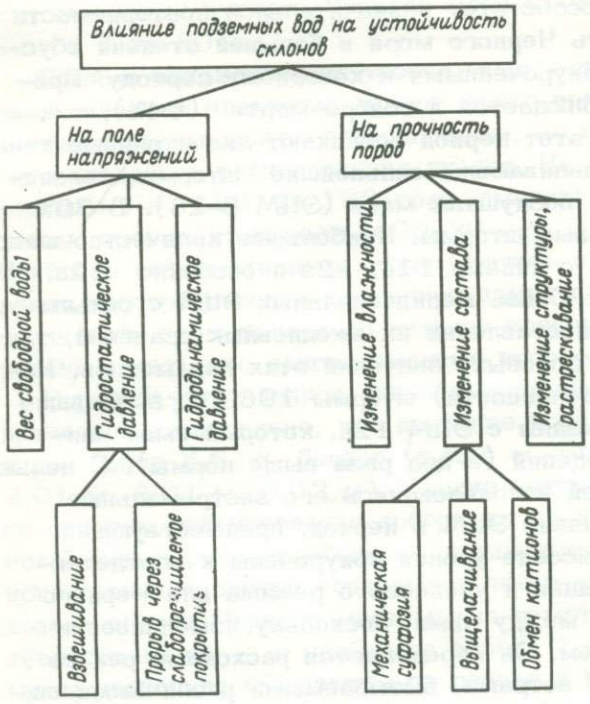


Рис. 1.5. Формы влияния подземных вод на устойчивость склонов (по Е.П. Емельяновой)

они содержатся в вышележащих породах, пассивно увлекаемых в оползневой процесс. Большой интерес представляют результаты анализа влияния степени обводнения склонов на предельную (максимальную) мощность покровных образований, проведенного Е.П. Емельяновой. Степень обводнения характеризуется индексом обводненности $l_{обв.} = \frac{a}{h}$, где a – мощность водоносного горизонта:, h – мощность покровных образований. На рис. 1.6. показано соотношение между максимальной мощностью покровных образований при $l_{обв.} = 0$ и минимальной при $l_{обв.} = 1$ для различных способов его учета при массе пород $\gamma = 1{,}8$ и $\varphi = 5^{\circ}$. Влияние водоносного горизонта представляется наименьшим при учете полного взвешивания и наибольшим при учете порового давления. Независимо от распределения влияния взвешивания порового давления или гидродинамического давления, наличие водоносного горизонта, по мнению Е.П. Емельяновой, способно уменьшить предельную мощность покровных образований на десятки процентов, а при $l_{обв.} = 1$ в 2–3 раза и более. Е.П. Емельяновой приведены фактические данные, иллюстрирующие влияние степени обводнения склонов на предельную мощность покровных образований, из которых следует, что при одинаковой крутизне склона наибольшую мощность имеют все виды склоновых отложений в засушливых районах Средней Азии, где $l_{обв.}$ близко к О. Далее следуют склоновые образования Южного берега Крыма, где сплошной водоносный горизонт отсутствует, а подземные воды присутствуют в виде отдельных струй на разных уровнях. Наименьшей мощностью характеризуются склоновые отложения в районах достаточного увлажнения, где хотя бы периодически создается почти сплошной водоносный горизонт (город Сочи). Следует, однако, заметить, что изложенное обстоятельство связано, возможно, не только с особенностями гидрогеологических условий охарактеризованных регионов, но и с увлажнением склонов атмосферными осадками, количество которых распределяется следующим образом: Средняя Азия – 300 – 400 мм/год. Южный берег Крыма – 500 – 600 мм/год; город Сочи – 1200 – 1400 мм/год.

Г.С. Золотарев также считает, что "главное и наиболее существенное воздействие подземных вод – это снижение прочности массива пород, особенно, по контактам, в трещинах тектонических, выветривания и слоистости, в зонах перемятия и разуплотнения, где часто имеются скопления глинистого материала. Значения гидростатического и гидродинамического давлений могут быть различными в общем балансе сдвигающих сил для разного типа оползней" [17]. Наибольшими, по мнению Г.С. Золотарева, они будут, если: а) напорные воды залегают под менее водопроницаемыми породами, предрасположенными к смещению, оказывая на них взвешивающее давление (огромные оползни на склонах – р. Ангрен – Средняя Азия); б) горный склон сложен скальными трещиноватыми породами с крутонаклонными периодически обводняемыми разрывами, вследствие различной водопроницаемости пород в вертикальном и горизонтальном направлениях временно создается большое гидростатическое давление; в) при быстрых значительных сработках горизонтов водохранилищ, в результате которых возникает гидродинамическое давление, необходимое для образования или активизации оползней; г) в зоне переменных уровней водохранилища или реки обнажаются тонкозернистые пески, что определяет возможность их выплывания и суффозии под воздействием фильтрующихся вод.

Большое значение для развития оползневых процессов имеет положение уровня под-

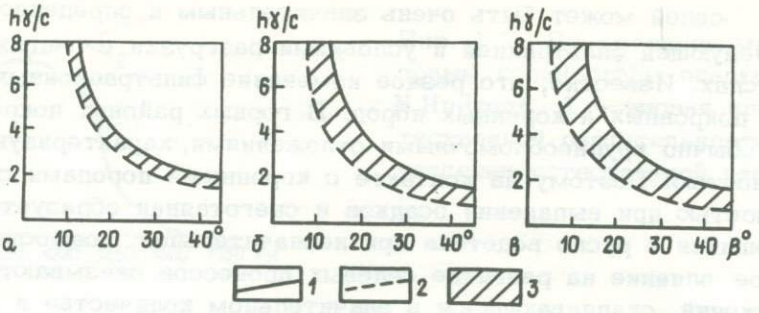


Рис. 1.6. Графики влияния водоносного горизонта на зависимость предельной мощности покровных образований h от крутизны склона β при $\varphi=5^{\circ}$ (по Е.П. Емельяновой) а) при учете взвешивания и гидродинамического давления; б – при учете только гидродинамического давления; в – при учете гидродинамического и порового давления; 1 – при отсутствии водоносного горизонта (мощность водоносного горизонта $a=0$); 2 – при $a_{max}=h$; 3 – при $0<a<h$

земных вод по отношению к основному деформируемому горизонту (ОДГ) или поверхности скольжения. При этом возможно три основных случая: а) подземные воды залегают значительно ниже ОДГ и даже в период аномального подъема не достигают его и, соответственно, не оказывают никакого влияния на развитие оползней; б) уровень подземных вод находится выше ОДГ или плоскости скольжения, т.е. оползневые породы и породы зоны скольжения находятся в условиях постоянного обводнения, испытывают гидродинамическое и гидростатическое давление, в этом случае развитие оползней определяется в основном гидрогеологическими условиями и их изменением; в) ОДГ или поверхность скольжения находятся в зоне колебания уровня подземных вод, т.е. породы испытывают регулярное изменение влажности в результате переменного увлажнения – высушивания, что способствует активному их выветриванию, разуплотнению, разрушению структурных связей. Как правило, активизация оползней в этом случае связана с периодом подъема уровня подземных вод.

Для первого случая характерны оползни неглубокого заложения мощностью, не превышающей несколько метров, с инфильтрационным типом обводнения, т.е. за счет атмосферных осадков. Как правило, это оползни-потоки, сплывы в склоновых глинистых отложениях четвертичного возраста, широко распространенные в различных регионах СССР. Во втором случае наблюдаются оползни блокового и сложного строения значительной мощности. В качестве примера могут служить оползни в палеозойских песчаниково-сланцевых породах долины р. Зеравшан, оползни на склонах р.Ангрен (Средняя Азия) и др. Для третьего случая характерны оползни в лессовых породах, возникающие, в результате обводнения лессовых пород, как правило, напорными водами из тектонических зон в местах их выклинивания [35].

Сели

На селевые процессы влияние гидрогеологических условий осуществляется в следующих направлениях: 1) воздействие подземных вод на развитие склоновых процессов (оползни, эрозия и др.), участвующих в формировании твердой составляющей в очагах зарождения селей; 2) увеличение объемов жидкой составляющей селевых потоков за счет питания грунтовыми водами; 3) снижение механической прочности и водопрочности склоновых отложений – потенциального источника твердой составляющей, при их увлажнении подземными водами [50].

Первый способ воздействия охарактеризован ранее при рассмотрении с этой же точки зрения оползневых процессов. Остается лишь добавить к сказанному, что в данном случае существенное значение имеет положение подземных вод по отношению к формам проявления ЭГП или потенциальных в этом отношении участков склонов очагов зарождения. Участие подземных вод и, прежде всего, грунтового стока в формировании жид-

5386

кой составляющей селей может быть очень значительным и определяется инфильтрацией осадков, последующей фильтрацией и условиями разгрузки в очагах зарождения и селестоковых руслах. Известно, что резкое изменение фильтрационных свойств происходит на контакте покровных и коренных пород. В горных районах покровные образования представлены обычно крупнообломочными отложениями, характеризующимися хорошей водопроницаемостью. Поэтому на контакте с коренными породами с незначительной водопроницаемостью при выпадении осадков и снеготаянии образуется грунтовый поток, выклинивающийся в русло водотока при незначительной мощности склоновых отложений. Большое влияние на развитие селевых процессов оказывают грунтовые воды моренных отложений, скапливающиеся в значительном количестве в теле морен и обеспечивающие значительные расходы при их прорыве. При обводнении рыхлообломочных склоновых отложений подземными водами происходит снижение их прочности, а также уменьшение сопротивления эрозионному размыву. Так, например, при увеличении влажности заполнителя крупнообломочных пород от 2-4% до 20-25% угол внутреннего трения уменьшается в 7-10 раз от максимального значения 40-43° до минимального 4-6°. Интенсивность размыва крупнообломочных пород, по данным экспериментальных исследований [21], при изменении влажности может меняться в 2-5 раз. Как правило, в оползневых и эрозионных очагах зарождения селей с обводнением склоновых отложений не только за счет инфильтрации атмосферных, но и подземными водами, вероятность формирования селей выше.

7. Растительность

Из всех факторов, пожалуй, самым сложным и многообразным по характеру влияния на оползни и сели является растительность. Это связано с тем, что растительность воздействует практически на все условия развития оползневых и селевых процессов - климатические, гидрогеологические, гидрологические, оказывает существенное влияние на интенсивность процессов эрозии и выветривания.

Е.П. Емельянова влияние растительности на оползни расчленяет на следующие составные количественно характеризуемые элементы: вес массы деревьев и передаваемая ими на склоне ветровая нагрузка; увеличение прочности верхней толщи грунтов в результате ее армирования корневой системой или уменьшение прочности при расклинивании плотных пород корнями; многообразное влияние на влажностный водный и термический режим склонов [13]. Многообразие и изменчивость во времени влияния растительности на оползневые склоны делает чрезвычайно сложной оценку ее комплексного влияния на развитие оползней. Отсутствуют и количественные данные, на основании которых это можно было бы сделать. В связи с этим речь может идти о самых общих соображениях и некоторых отдельных результатах исследований влияния растительности на развитие оползней, изложенных Е.П. Емельяновой [13], В.И. Турманиной [42, 43], D.H.Gray [54], I.Feld [60] и др. Влияние растительности на устойчивость оползневых склонов тем больше, чем на меньшей глубине расположена возможная поверхность скольжения; при этом различаются два основных случая: а) корневая система находится выше зоны скольжения, и тогда растительность влияет только на величину сдвигающих усилий за счет собственного веса и передаваемой склону ветровой нагрузки, а также веса удерживаемой растительностью влаги в верхнем слое; б) корневая система находится в зоне скольжения, в этом случае влияние растительности двояко, с одной стороны, оно способствует снижению прочности пород при их выветривании и увлажнении, а с другой стороны, сопротивление сдвигу пород армированных корнями увеличивается. Высказанные положения подтверждаются фактическими данными. Глубокие оползни, распространенные в различных климатических зонах, возникают при любом растительном покрове. В некоторых случаях присутствие леса, создающего дополнительную пригрузку на склонах, может способствовать возникновению оползней. Такой случай описывает С. Оденштад, когда посадка рощи в верхней части склона в районе г. Скетторпа (Швеция) явилась, возможно, причиной развития оползневого процесса [64].

Оползни небольшой мощности в поверхностных отложениях, как правило, приурочены к участкам с травянистой растительностью. Известны многочисленные случаи активи-

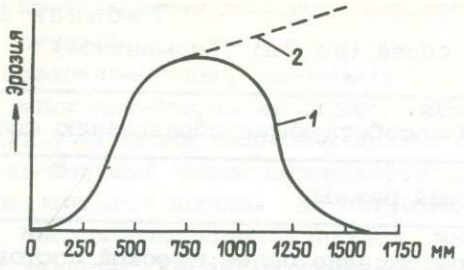


Рис. 1.7. Взаимосвязь между средним годовым количеством осадков и эрозией (по N.Hudson). 1 – эрозия при сохранении естественной растительности; 2 – эрозия при удалении естественной растительности

зации поверхностных оползней после уничтожения лесов или кустарников. По мнению Е.П. Емельяновой, это происходит потому, что растительность влияет на характер зависимости между крутизной склона и предельной мощностью покровных образований. Укрепленные корнями поверхностные отложения имеют большую мощность, чем при отсутствии растительности и поэтому после ее уничтожения и соответствующего изменения условий увлажнения склона они теряют устойчивость.

Существенное влияние растительность оказывает на такой важный фактор оползней, как эрозия. На рис. 1.7. показана связь между интенсивностью проявления эрозионных процессов и годовым количеством осадков для случая сохранения естественной растительности и при удалении ее, которую выявил Н. Гудзон (63). Эта связь регулируется растительностью. В районах с небольшим количеством осадков интенсивность эрозионных процессов, естественно, незначительна. По мере увеличения годовой суммы осадков возрастает и интенсивность эрозии, достигая максимума в районах с годовой суммой осадков 600 – 900 мм. Далее при увеличении количества осадков интенсивность эрозии снижается. Это происходит потому, что при более высоких значениях годовых сумм осадков происходит формирование растительного покрова, препятствующего развитию эрозии. При суммах осадков от 1200 мм и выше в тропических и субтропических зонах растительность настолько густая, что эрозия затухает и активизация ее происходит только после уничтожения растительного покрова. Как видно из графика, наиболее оптимальные условия для развития эрозии существуют в районах с годовой суммой осадков 500 – 700 м, обеспечивающей формирование эрозирующего поверхностного стока, но недостаточной для развития густого растительного покрова.

Влияние растительности на селевые процессы в различных аспектах рассматривалось многими исследователями, наиболее всесторонний анализ приводится в работах В.И.Турманиной [42] и А.И. Шеко [50]. Так же, как и в случае оползней, воздействие растительности на формирование селевых процессов не является однозначным. В табл. 1.6 приводятся результаты изучения роли растительности на склонах в образовании селей, полученные В.И. Турманиной, показывающие, что одни и те же выделенные элементы влияния могут в одних случаях препятствовать образованию селей, в других – способствовать. Наиболее существенно влияние растительности на водный режим склонов. При этом растительность рассматривается как своеобразный барьер, удерживающий определенное количество жидкой и твердой составляющей селей. Эффективность действия этого барьера определяется характером растительности. Наиболее существенное влияние оказывает древесно-кустарниковая и густая луговая растительность. С другой стороны, растительность может аккумулировать влагу, способствовать увлажнению склонов и развитию селевых процессов.

В целом наличие густого растительного покрова препятствует возникновению селей. Опыт показывает, что уничтожение естественного растительного покрова в горных районах приводит к активизации процессов выветривания, эрозии, осыпания, и в конечном итоге к формированию селей. И, наоборот, активность селевых процессов значительно снижается при использовании лесомелиоративных защитных мероприятий. С другой стороны, нельзя не согласиться с мнением А.И. Шеко, отмечающим, что возможны случаи, когда при определенном сочетании гидрогеологических условий и метеорологической обстановки лес может создавать благоприятные предпосылки для образования больших паводков при сравнительно небольших дождях. Это происходит в случаях, когда дожди выпадают на сильно насыщенную водой почву за счет предыдущих дождей. При этом интенсивность последующих дождей должна быть больше инфильтрационной способности почвы. Далее густой высокий травяной покров, если он ориентирован вниз по склону,

Таблица 1.6

Роль растительности на склонах в образовании селей (по В.И. Турманиной)

Препятствующая образованию селей	Способствующая образованию селей
Влияние на водный режим	
Перевод поверхностного стока по внутренний или грунтовый Задержка осадков кронами деревьев, кустарниками и травами и защита почвы от механического повреждения каплями дождями Расход влаги на транспирацию и испарение Регулирование паводковых вод	Поддержание более высокой постоянной влажности по сравнению с соседними участками, лишенными растительности Накопление большого количества снега и задержка его таяния, приводящие к переувлажнению склона
Влияние на температурный режим	
Уменьшение амплитуд температурных колебаний, ослабляющих физическое выветривание	
Преобразование лучистой энергии	
Изменение отражательной способности поверхности склона, уменьшающее или увеличивающее общее поступление тепла	Поглощение части лучистой энергии
Влияние на прочность субстрата	
Скрепление рыхлых отложений корневыми системами	Разрушение корнями скальных пород
Химическое воздействие	
Приведение в связное состояние некоторых подвижных соединений	Выщелачивание, приводящее к последующему выносу некоторых соединений
Влияние на ветер	
Защита склонов от ветровой эрозии	Передача вследствие парусности ветровой нагрузки на склон и разрушение субстрата в связи с раскачиванием деревьев

может создавать эффект "крыши", резко уменьшая свою задерживающую способность и увеличивая поверхностный сток [50].

8. Геокриологические условия

Развитие оползневых и селевых процессов в мерзлых породах характеризуется рядом особенностей, которые обусловлены тем, что вода в них находится в твердом состоянии, а также тем, что с промерзанием и протаиванием горных пород связана целая группа процессов. По длительности существования М.И. Сумгин выделил следующие виды мерзлых пород:

а) кратковременномерзлые (продолжительность нахождения в мерзлом состоянии – часы, сутки);

б) сезонномерзлые (месяцы);

в) многолетнемерзлые (годы, десятки, сотни и тысячи лет).

Если учесть все виды мерзлых пород, указанные выше, то криогенные процессы развиты на большей части поверхности суши. Как отмечают Б.Н. Достовалов и В.А. Кудрявцев, мерзлые породы не встречаются только на равнинах тропиков и субтропиков [12]. Многолетнемерзлые породы занимают около одной четверти поверхности суши нашей планеты. Характер и мощность мерзлых пород находится в зависимости от климатической горизонтальной зональности и вертикальной поясности, а также от особенностей геологического строения, гидрогеологических и многих других факторов.

Важнейшими факторами, определяющими глубину промерзания, являются степень и продолжительность охлаждения. Поэтому мощность кратковременных пород не превышает нескольких сантиметров, сезонномерзлых – составляет первые метры, а многолетнемерзлых – может достигать 500 и более метров. Кратковременное промерзание прямого влияния на селевой и оползневой процесс практически не оказывает. Более сильное влияние оно оказывает на развитие этих процессов как фактор механического разрушения самой приповерхностной части коренных пород при замерзании воды. Более сильное влияние на оползневые и селевые процессы оказывают сезонное промерзание и сезонное оттаивание. При промерзании горных пород в зависимости от их генетических литологических особенностей, а также от условий увлажнения, формируются различные типы криолитоструктур. Механическая прочность песчано-глинистых, крупнообломочных и скальных сильновыветрелых пород в мерзлом состоянии больше, чем в талом, и зависит от типа криолитоструктур и криолитотекстур. Устойчивость склонов повышается, вероятность развития проявления оползней уменьшается. В толще мерзлых пород никогда не было зафиксировано мелких оползней, поверхность которых проходила только в мерзлых породах. При оттаивании эти породы обычно насыщаются влагой до предела, структурные связи резко ослабевают, прочностные характеристики резко снижаются, и устойчивость этих пород на склонах и в откосах уменьшается. Если при этом глубина протаивания достигает величины критической мощности для данной крутизны склона, происходит сдвижение оттаявших пород по мерзлым в виде солифлюкции или оползней, а в случае если происходит дополнительное увлажнение склонов за счет атмосферных осадков, наблюдается массовая активизация склоновых процессов (оползни, солифлюкция, подвижки курумов). При этом рыхлообломочный материал со склонов сносится в русла рек и вовлекается паводками, которые, насыщаясь твердым материалом, переходят в селевые потоки. Катастрофичность проявления экзогенных геологических процессов особенно усиливается, если в период их активизации происходят сильные землетрясения.

Прочностные и деформационные свойства скальных пород при образовании криолитоструктур изменяются очень слабо. В этом случае важное значение имеет попеременное замерзание воды в трещинах и расклинивающие действие воды, образовавшейся от таяния льда в трещинах и проникшей в трещины от атмосферных осадков. В конечном счете попеременное замерзание воды в трещинах и ее оттаивание приводит к разрушению скальных пород и накоплению на склонах крупнообломочных отложений (курумов, каменных россыпей). Протаивание мерзлых пород в сезонноталом слое и оттаивание сезонных мерзлых пород зависит от географического положения местности и ее высоты над уровнем моря. В северном полушарии протаивание начинается в южных областях и у подошвы южных склонов, продвигается к северу и к вершинам гор и переходит на северные склоны. В этом направлении происходит сдвиг сезонов, опасных в отношении проявления экзогенных геологических процессов. Например, по А.М. Лехатинову, в зоне БАМа в Чарской впадине протаивание пород начинается на 15–20 дней позже, чем в Баргузинской (Восточная Сибирь, СССР). Разница между началом сезонного протаивания на днище впадин и высокогорье достигает 40–50 дней. На такой же примерно срок происходит сдвиг периодов активизации экзогенных геологических процессов. Особенно хорошо это наблюдается на примере проявления селей. Формирование селей в зоне БАМа связано с интенсивным таянием снега и интенсивными дождями. Ранней весной сели формируются в низкогорье, где мерзлые породы протаяли на достаточно большую глубину, ранним летом – в среднегорье, а летом и поздним летом – высокогорье.

В горах южного полушария эти закономерности проявляются в соответствии с зонально-климатическими особенностями этого полушария. Геокриологические условия могут рассматриваться как медленноизменяющиеся, если речь идет о региональной тенденции их изменения в вековом разрезе, и как быстроизменяющиеся, если делается анализ их изменения на ближайший период по годам.

Многолетнемерзлые породы и сезонное промерзание верхних горизонтов горных пород – планетарное явление, обусловленное тепловым состоянием Земли. Тепловой баланс Земли складывается как за счет внутренних источников тепла (энергия ядерных реакций, гравитационная энергия Земли, энергия, выделяющаяся при изменении скорости вращения Земли, энергия, выделяющаяся при экзотермических химических реакциях), так и за счет внешних энергетических воздействий на нашу планету (лучистая энергия Солнца и звезд, корпускулярное, в том числе нейтронное излучение Солнца и звезд, энергия метеоритов, падающих на Землю и сгорающих в атмосфере; гравитационные воздействия Луны, Солнца и, возможно, всей нашей галактики) [12]. Анализ, проведенный Б.Н. Достоваловым, показал, что внешние энергетические воздействия на атмосферу, гидросферу и поверхность литосферы в 10 000 раз мощнее воздействия внутренних источников энергии. Поэтому при прогнозах можно считать, что изменения теплового баланса Земли и изменения климатических условий обусловлено внешними воздействиями на планету.

9. Геологические процессы

На развитие оползней и селей существенное влияние оказывают другие геологические процессы, определяющие их направленность, интенсивность и активность проявления. Среди них выделяются две генетические группы: эндогенные процессы, к которым относятся землетрясения и современные тектонические движения и экзогенные – выветривание, эрозия, абразия и др.

Эндогенные процессы

Наиболее существенное и всестороннее влияние на развитие оползней и селей оказывают эндогенные геологические процессы, обусловленные общей эволюцией Земли.

Современные тектонические движения

Воздействие современных тектонических движений (вертикальных) на оползневые и селевые процессы не является непосредственным и реализуется через такие важнейшие факторы, как рельеф, уровни подземных вод, уровни морей и океанов, обусловливая медленные, вековые их изменения. Важнейшими характеристиками современных вертикальных движений являются: 1) направленность (положительные, отрицательные); 2) интенсивность; 3) контрастность.

В районах, испытывающих продолжительные поднятия, активно развивается глубинная эрозия. Относительное понижение базисов эрозии приводит к быстрому врезанию речных русел, увеличению крутизны склонов и в конечном итоге активизации оползневых процессов. В береговой зоне морей и океанов поднятия континента обусловливает относительное снижение уровня моря, вызывающее уменьшение активности абразионных процессов и, соответственно, затухание оползневых процессов. Такое асинхронное развитие оползневых процессов побережий и склонов речных долин впервые высказано З.А. Макеевым [32] и иллюстрируется табл. 1.7.

Очевидно, что влияние современных тектонических движений на оползни осуществляется в основном через эрозионные и абразионные процессы. Не исключено, однако, что механизм влияния современных тектонических движений на развитие оползневых процессов гораздо сложнее и разнообразнее. Так, в результате режимных исследований на Ташкентском геодинамическом полигоне, организованном в СССР в числе других полигонов в соответствии с проектом, принятым на I Международном симпозиуме по современным движениям земной коры (Лейпциг, 1962), установлена связь активности

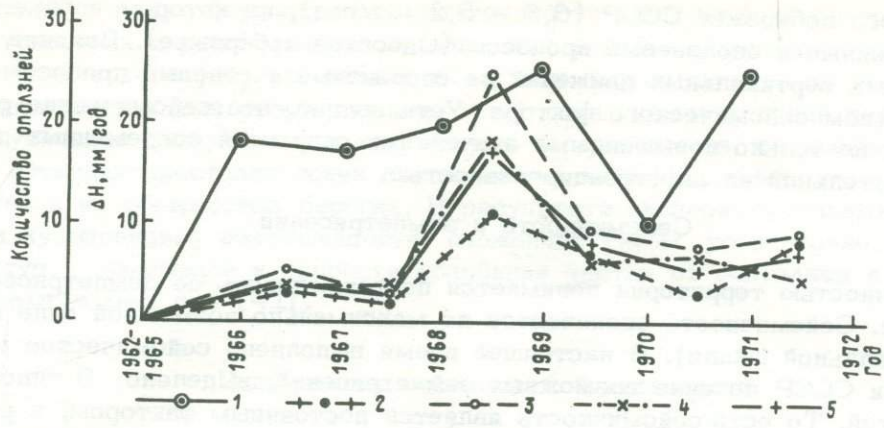


Рис. 1.8. График средних годовых вертикальных поднятий территории г. Ташкента и прироста оползней по трем учетным площадкам к востоку от Ташкента (по Н.С. Благоволину, С.К. Горелову, Г.И. Пшенину, В.А. Филькину, Е.А. Финько) 1-осредненный график современных вертикальных движений территории Ташкента по шести реперам: 2-4 и графики прироста оползней по первой (2), второй (3), и третьей (4) учетным площадкам (соответственно: Сюрель- Ата, Северный Алон, Средний Алон), 5 - осредненный график прироста оползней по трем учетным площадкам

Табдица 1.7

Склон морского побережья	Склон речной долины
Трансгрессия или опускание побережья	
Активное развитие оползневых процессов вследствие интенсивно проявляющейся абразии	Затухание оползневых процессов вследствие аккумуляции в связи с повышением базиса эрозии
Регрессия или опускание побережья	
Затухание оползневых процессов	Активное развитие оползневых процессов вследствие эрозии в связи с понижением базиса эрозии

проявления оползней с величиной средних годовых вертикальных поднятий [4], показанная на рис. 1.8.

Воздействие современных тектонических движений на селевые процессы значительно меньше и реализуется посредством изменений в рельефе горизонтальной и вертикальной расчлененности, крутизны склонов, общей энергии рельефа. Если знак современных тектонических движений определяет направленность развития процессов образующих рельеф, и прежде всего оползневых, то скорость их обусловливает темп происходящих изменений.

По данным наблюдений с использованием повторных нивелировок, на территории СССР наибольшая скорость положительных вертикальных движений колеблется от 14,4 мм/год (Северный Тянь-Шань) до 66 мм/год (зафиксировано на Алма-Атинском полигоне в периоды, предшествующие землетрясениям). Следует отметить, что значительные скорости современных вертикальных движений могут наблюдаться как в горно-складчатых областях, так и на платформах. Например, скорость поднятий в районе правобережья Днепра 10 мм/год и сопоставима со скоростью воздымания части Большого Кавказа 10-12 мм/год. Максимальная скорость опускания зафиксирована для рай-

она Черноморского побережья СССР (6,5 – 5,2 мм/год), на котором наблюдаются активные абразионные и оползневые процессы (Одесское побережье). Влияние контрастности современных вертикальных движений на оползневые и селевые процессы осуществляется посредством сейсмического фактора. Установлено, что сейсмические районы характеризуются не только повышенными значениями скоростей современных движений, но и значительной их дифференцированностью.

Сейсмичность и землетрясения

Под сейсмичностью территории понимается подверженность ее землетрясениям определенной силы. Сейсмичность оценивается по максимально возможной силе землетрясений (по 12-балльной шкале). В настоящее время выполнено сейсмическое районирование территории СССР по силе возможных землетрясений, выделено 6 типов сейсмических областей. То есть сейсмичность является постоянным фактором, а режим сейсмичности, точнее, режим землетрясений, в пределах каждой из выделенных сейсмических областей, рассматривается как быстроизменяющийся независимый фактор.

Землетрясения являются важнейшим фактором оползневых и селевых процессов, с которым связано их катастрофическое проявление. Г.С. Золотарев [17] рассматривает землетрясения "как фактор, способствующий раздроблению массива пород и изменению их механических и других свойств, и как "силовой" фактор, перераспределяющий напряжения в породах склона и создающий очаги их концентрации". Как правило, все сильные землетрясения (от семи баллов и выше) сопровождаются обвально-оползневыми явлениями катастрофического характера, разрушительными селевыми потоками. Именно такими были в СССР известный Хаитский сель в Таджикистане в 1949 г.; с сильными землетрясениями связано образование Усойского завала (Памир). Амткельского оползня, Рицкого обвала, вызвавших подпруживание рек и образование крупных горных озер. Повсеместное развитие оползневых и обвальных процессов наблюдалось во время Ашхабадского землетрясения в 1948 г., сильного землетрясения в Дагестане в 1970 г. Существенное влияние на развитие оползней оказывают и слабые землетрясения. В таких случаях они являются как бы толчком, спусковым механизмом уже подготовленного к обрушению массива.

О масштабности проявления землетрясений, значимости их как фактора оползневых и селевых процессов, можно судить по следующим цифрам – ежегодное их количество (включая слабые) достигает 100 000, из них примерно 100 сильные и очень сильные [41]. Количественная связь интенсивности проявления обвально-оползневых процессов на высоких склонах с сейсмичностью территории пока не установлена. Тем не менее, в результате натурных исследований Г.С. Золотаревым установлено, что наибольшее количество оползней, обвалов, осовов, возникших в результате землетрясений, приурочено к верхним частям горных склонов [15]. В то же время, по данным Г.А. Лямзиной и Т.Г. Ивановой [31], горизонтальная составляющая сейсмических волн верхней части склонов долин горных рек в 1,5 – 1,2 раза, а, возможно, и более, превышает таковую в русловой части.

Реализация сейсмического фактора в значительной степени определяется составом, строением и свойствами пород, а также гидрогеологическими условиями приповерхностной зоны земной коры. Изучение скоростей сейсмических волн в различных породах позволило С.В. Медведеву в 1962 г. разработать шкалу приращения сейсмической балльности, в котором эталоном являются граниты [41]. Позднее А.П. Вахтановой было установлено, что близкие по литолого-петрографическому составу, но различные в геолого-генетическом отношении группы, характеризуются неодинаковыми сейсмическими свойствами. Более древние отложения, обладающие большей плотностью отличаются большими скоростями сейсмических волн. Необходимо отметить, что сказанное относится к породам поверхностной зоны мощностью примерно в 20 м. Большое влияние на сейсмичность оказывают гидрогеологические условия. В пределах верхней 10-метровой толщи повышение грунтовых вод обусловливает приращение балльности [41]. При залегании грунтовых вод около 4 м от поверхности в дисперсных породах балльность территории повышается примерно на полбалла; если грунтовые воды залегают близко к поверхности на 1 балл. В этом случае под глубиной залегания грунтовых вод понимается не сам уровень, а зона капиллярного водонасыщения. При залегании грунтовых вод глубже 10 м их влияние на приращение балльности не сказывается.

Существенную роль в формировании интенсивности колебаний на поверхности земли при землетрясениях играют различные элементы рельефа. Выше уже отмечалось, что влияние сейсмического фактора сильнее в верхних частях склонов по сравнению с нижними. Анализ последствий разрушительного действия землетрясений показывает значительное усиление разрушающего воздействия на сооружения, расположенные на возвышенных останцах кристаллических пород, изолированных холмах, на крутых склонах гор, оврагов и на обрывистых берегах. В результате экспериментальных исследований в пределах куполовидной возвышенности, сложенной туфом, установлено, что превышение амплитуд смещений и скорости колебания частиц от основания к вершине купола возрастают в 6–8 раз [41].

Цикличность сейсмической активности

В СССР для оценки сейсмоактивности используются характеристики: B_I – средняя частота землетрясения интенсивности I; $T_I = 1/B_I$ – средний период повторения таких событий; $p = t/T_I = t\,B_I$ – вероятность того, что любое за любое время ожидания событие произойдет хотя бы раз. Время t зависит от типа сооружения. Сейсмическая сотрясаемость рассчитывается по зонам геоструктур с I = 7,8,9 и 10 баллов, либо для каждого пункта территории через $0{,}1^\circ$ – $0{,}2^\circ$ широты и долготы. Для новейшего сейсморайонирования в СССР расчеты T_I выполнялись на основании карт параметров долговременной средней сейсмичности, построенных по комплексу сейсмолого-геофизических данных. Используемая методика расчета T_I относится к разряду статистического моделирования событий. Однако для ряда районов Земли имеет место неоднозначность (до неопределенности) геолого-геофизических критериев сейсмичности, вызванная сложностью сейсмотектонических отношений. В одних случаях для прогнозных построений на фоне общей структурной гетерогенности литосферы более правильно выделение сейсмоактивных блоков (типа Чаткальского в Средней Азии), в других – сейсмоактивного разлома (типа Пиеннинского в Закарпатье, разлома Кухбенан в Иране), в третьих – морфоструктурных узлов. С неопределенностью критериальных условий до сих пор связана неясность генерации сильных неглубоких землетрясений локального эффекта, типа Агадирского (1960, Марокко) в 10 баллов, а также Ташкентского (1966, СССР), интенсивностью 8 (по некоторым данным, 9–10 баллов). В этой группе явлений и парадоксальность землетрясений Греции и Эгейского моря, определяемая преобладающей ролью верхней мантии и высвобождении сейсмической энергии.

Временные ряды землетрясений разных энергоклассов и группировок были выявлены и проанализированы многими исследователями, выполнившими отдельные корреляционные проработки, и высказавшими при объяснении причин ритмики различные идеи и предложения. Из ранних работ популярна гипотеза Брикнера о широкой корреляции землетрясений, оползней и обвалов в Астрийских Альпах с циклами солнечной активности. Важными являются работы Г. Беньоффа (1951), В.Е. Хаина (1960, 1964 и др.). Работы последних лет по цикличности сейсмоактивизации характеризуются широким географическим охватом, различной степенью детальности временных рядов и отсутствием единого мнения в объяснении фиксируемых особенностей сейсмического процесса. Одни рассматривают закономерности повторяемости как отражение циклов общепланетарного развития сейсмотектонических параметров Земли, другие связывают их со спецификой тектонофизической обстановки и ее эволюции в регионах, третьи объясняют ритмику "триггерным" эффектом солнечного (S = 11,2 лет), лунно-солнечного (N = 18,6 лет), либо ротационно-пульсационных циклов [59] – от годичного до суточного интервала. Активизацию землетрясений Беньофф объясняет отражением пульсаций подкоровых процессов на закономерно-направленный ход глобального сейсмотектонического развития Земли. Накапливающаяся в глубинах Земли энергия высвобождается в виде упругих деформаций дискретно. Беньофф считает, что энергия $E = \varepsilon C$, где ε – деформация; $C = (0{,}5\,\mu v)^{0,5}$, μ – упругая константа, v – объем горных пород. Если в момент t_1 сумма $\Sigma E^{0,5}$ равна C_1, а в $t_2 - C_2$, то величина $\gamma = \dfrac{C_2 - C_1}{t_2 - t_1}$ характеризует интенсивность сейсмического процесса, а также ее пульсации. Так, интервалы времени глобальной активизации коровых землетрясений планеты с магнитудой M = 7,75, являются годы 1904–1907 и 1932–1935 [29].

На основе метода Беньоффа выполнен ряд региональных работ. Например, для части Балтийского щита [3] анализом распределения 283-х эпицентров за 1542-1976 гг. выделено две зоны. В Кандалакшской - толчки в 5-6 баллов случаются раз в 20 лет (варьирование 7-35 лет); на Мурманском побережье - раз в 50-100 лет. В целом сейсмоактивны годы: 1896-1905, далее 1926-1936 и 1956-1975. Для южной зоны Чуйской впадины (Восточная Сибирь) графиками Беньоффа установлено чередование максимальной и минимальной активности длительностью 8-12 лет (1/2 T в нашем понимании). Сейсмоактивные годы: 1929-1938; 1947 - 1957; 1968-1976 [51]. Близки 1/2 T в северной зоне Иссык-Кульской впадины (Средняя Азия) (за 1885-1975 гг.). [67]. Аналогичные работы проделаны для Курильских островов и северо-восточной Японии, Гармского района Таджикистана (СССР) западной Тувы (СССР) и др.

Для сильных землетрясений с глубиной $h < 100$ км исследование пространственно-временного распределения выполнено в [65]. По Kiyoo Modi, с 1960 по 1970-е г.г. для планеты наблюдается миграция сейсмоактивности: с 1931 по 1950 гг. активными были районы низких широт $< (40^{\circ})$, с 1951 по 1970 гг. - высоких $> (40^{\circ})$. В современную фазу активизация землетрясений вновь намечается в низких широтах, т.е. объем полупериода планетарного масштаба равен 20-25 годам. Отметим, что это важное явление - пространственно-временная миграция сейсмического процесса (маятникового типа) - устанавливается при детальных исследованиях отдельных морфоструктур в ряде регионов СССР: по Пиеннинскому разлому в Закарпатье, в Чуйской впадине и Иссык-Кульской котловине, Курильской дуге, в зоне Душанбинского геофизического полигона; южной Италии и др. В миграционных явлениях участвует, по-видимому, весь энергетический спектр землетрясений данного региона, с охватом длины всего разлома.

Вторая группа работ взаимосвязана с первой, хотя для объяснения сейсморитмики авторы либо высказывают идеи, либо просто излагают факты. Так, для островных дуг цикличность землетрясений ($T \simeq 100$ лет) рассматривается как результат прерывистого относительного движения смежных плит литосферы в зоне поддвига. Близкие $T = 70$-90 лет фиксированы в главном сейсмическом регионе Новой Зеландии (67); годы сейсмоактивизации здесь: 1834-1855, 1929-1934; ожидаемые ~ 2000 г. В системе Эллинской островной дуги неглубокие толчки с $M = 5{,}6$ и промежуточные землетрясения ($M = 7$) за 1920-1980 гг. имеют период 29 лет (67). Большие T установлены для землетрясений в 7-8 баллов в Нерюнгрине, Якутии - от 200 до 3000 лет. В то же время для островов Фиджи-Тонга и Охотского моря выявлены $T =$ 6-9 лет для слабых глубокофокусных землетрясений [46]. Для периферии Тихого океана величина T зависит от энергии толчков. Слабых землетрясений больше - до 10000 в год против 20 с $M > 7$, и их период короче. На Кубе в районе Сантьяго-де-Куба также отмечается квазипериодичность сильных и разрушительных землетрясений [29], варьирующая для различных морфоструктурных узлов. Называются T (лет): 140-160; 80-100; 40-50; 20-25. Как видим, соотношения T близки кратным. Другие простые отношения (2:3) можно отметить для Калифорнии в разных зонах разлома Сан-Андреас (68). По материалам о землетрясениях с VI века н.э. в районе Поллет-Крик выявлен T в 160 + 50 лет, а в Валлекс-Крик - 233 + 34 года. Упомянем ранние работы Н. Миябе (1927) и Х. Тернера (1925), получивших независимо друг от друга для разных в сейсмотектоническом отношении районов Китая кратные циклы сильнейших толчков: 120-150 и 240-280 лет. В работе 1981 г. по сейсмичности Китая [46] в районе Бохайского залива Желтого моря проявления сильных землетрясений на разных в тектоническом отношении территориях неодинаковы, но кратные по величине - в 11 и 22 года. Простые отношения между T фиксируются для различных зон Балканского региона [51]: западнее Вардарской зоны $T = 5$-8 лет; восточнее ее - $T =$ $= 12$-15 лет, а для всего Балканского региона (исключая о. Крит) характерен $T =$ $= 35$-45 лет. Другие T, но также в кратных отношениях ($T = 64$-123) называются для сильных землетрясений южного Причерноморья (66). По-видимому, кратные отношения циклов активности землетрясений для районов крупных морфоструктурных зон могут свидетельствовать об общности генерирующего их процесса, по аналогии с тем же явлением, установленным для террасовых рядов рек и океанов (Ю.Г. Баландин, 1982).

Как видим, правильная периодичность сейсмоактивизации является закономерной

чертой для многих сейсмических зон Земли, но в количественном отношении проявляется она по-разному в различных морфоструктурных и сейсмотектонических обстановках.

Третья группа многочисленных работ отличается тем, что ее авторы стоят на позициях космогеофизической обусловленности во времени цикличности проявления процессов экзогенной геодинамики. С крупными циклами солнечной деятельности увязываются циклы разрушительных землетрясений Кавказа и Турции (Т ~ 250-300 лет) [20]; с 22 и 88-летними солнечными периодами- сейсмоактивность Киргизии (СССР), с 11-22 летними - сейсмоактивность Северо-Китайского региона с северной части провинции Хэбей [46]. С годами максимума S увязываются сильные землетрясения (М =6,6) Копетдага [3]. Лунно-солнечный цикл (18,6 лет) называется в качестве триггерного механизма сейсмоактивизации (землетрясения М = 7,5) района Камчатки (СССР) и для Йеллоустонского парка в США. В пределах крупных Т более короткие лунные ритмы (фазы ново- и полнолуний) провоцируют промежуточные и глубокофокусные землетрясения в Грузии, Туркмении (СССР) и северо-западном обрамлении Тихого океана. Наконец, на ротационный механизм "спускового крючка" в период активизации сейсмического процесса указывается для Гармского региона Таджикистана и Курило-Камчатского региона [65]. Таким образом, существование определенной связи сейсмической активности с факторами космического порядка является несомненным.

Приведенный обзор позволяет на базе новейших воззрений сейсмотектонофизики, сделать следующие обобщения.

Сейсмический процесс является составной частью тектонического развития литосферы и его ходу во времени присущи важнейшие особенности тектонических движений: 1) непрерывно-прерывистый характер; 2) цикличность; 3) свойство пространственно-временной миграции (по сейсмогенным структурам); 4) этажность разрядки напряжений в литосфере, неоднозначность времени накопления потенциальной энергии напряженно-деформируемого состояния для разнородных морфоструктур; 5) наложение (интерференция) циклов разного порядка, контролируемое, по-видимому, кратными отношениями, 6) импульсы сейсмической активности значительно короче разделяющих их интервалов спокойного проявления процесса разрядки энергетических полей литосферы; 7) сейсмоцикличность, как и периодичность тектогенеза в целом, связана с резонансными отношениями сил... "космических экзогенных влияний и глубинных процессов, при которых первые играют роль "спускового механизма".

Взаимосвязь экзогенных геологических процессов

Изучение закономерностей развития экзогенных геологических процессов показывает, что их распространение и развитие подчиняется парагенетическому принципу, в соответствии с которым в большинстве случаев проявление процессов происходит в виде естественных ассоциаций, в тесной взаимосвязи. Как правило, возникновение или развитие одного процесса влечет за собой образование или активизацию другого. При этом наблюдаются и прямые, и обратные связи между ними. Особое место в этом отношении среди экзогенных процессов занимает выветривание. Этот процесс, как правило предшествует возникновению и развитию всех ЭГП. Эрозия и абразия скальных и полускальных пород происходит главным образом по мере их выветривания. Существенное влияние выветривание оказывает на оползневые процессы, механизм его заключается в снижении прочности пород, которая в результате выветривания может уменьшаться в десятки и сотни раз. С глубиной интенсивность выветривания и снижение прочности пород быстро затухает. Наиболее значительная роль выветривания в формировании поверхностных оползней. Тем не менее при значительной трещиноватости пород, наличии крупных тектонических трещин и зон разломов, выветривание может распространяться на значительную глубину и создавать благоприятные условия для развития крупных оползней. В качестве примера можно привести оползни, сформировавшиеся в палеозойских терригенных песчаниково-сланцевых породах долины р. Зеравшан (СССР) [16, 34]. Исключительно сильное влияние оказывают процессы выветривания на развитие оползней в глинистых породах, быстро выветривающихся и теряющих структурную прочность [23, 25].

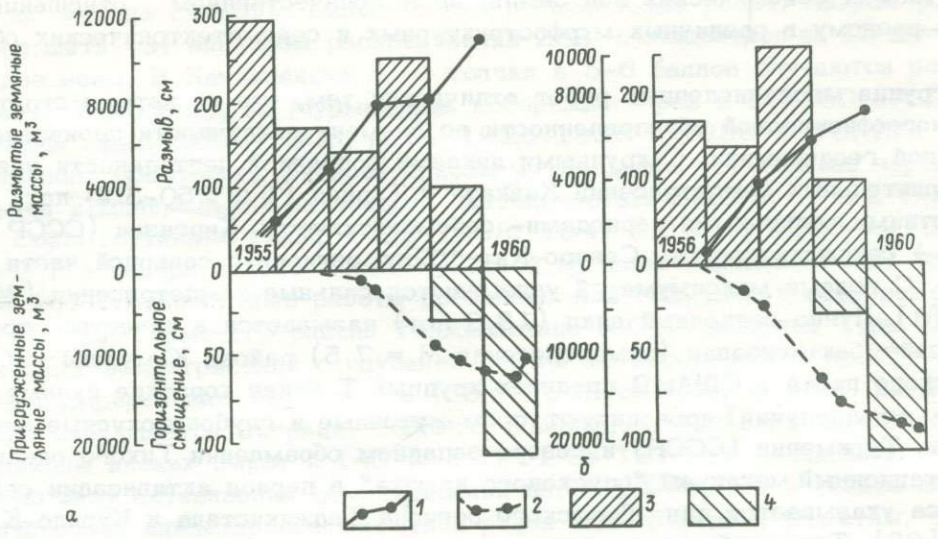


Рис. 1.9. Графики зависимости оползневых смещений от речной эрозии для района Ленинских гор г. Москвы (по В.В. Кюнтцелю) а – участок I; б – участок II. 1 – величина размыва берега; 2 – величина горизонтального оползневого смещения; 3 – объем размытых пород; 4 – объем приуроченных земляных масс

Роль выветривания в селевом процессе заключается в снижении прочности и разрушении горных пород, увеличивающих подверженность их воздействию различных склоновых процессов, участвующих в формировании и накоплении твердой составляющей в очагах зарождения селей и селевых руслах. Чем интенсивнее процессы выветривания, тем выше скорость накопления обломочного материала.

Характерным и повсеместно распространенным парагенетическим комплексом является эрозионно-оползневой процесс. При этом имеется ввиду и овражная эрозия временных водотоков и русловая (постоянных водотоков). Ранее приводился пример о том, что в пределах Горного Крыма более половины действующих оползней вызываются эрозией, подавляющее большинство оползневых процессов Европейской территории СССР вызвано развитием овражной и русловой эрозий [28]. Имеет место не только пространственная и временная связь оползней с эрозией. В качестве примера на рис. 1.9 показана зависимость величины оползневых деформаций от активности русловой эрозии [28]. Имеет место, как уже указывалось, и овражная связь. Разуплотнение пород, снижение их прочности, образование отрицательных микро- и мезоформ рельефа, нарушение растительного покрова в результате действия оползневых процессов создают благоприятные условия для развития овражной эрозии на оползневых склонах. Такая взаимообусловленность эрозионно-оползневых процессов наблюдается, например, в Молдавской ССР [18] и выражается настолько ярко, что во многих случаях затруднительно определить доминирующий или первоначальный процесс, т.е. здесь идет речь о едином эрозионно-оползневом явлении. Парагенетический комплекс оползни – эрозия можно представить в следующем виде:

оползни $\rightleftarrows$ эрозия

Существенное влияние на развитие оползней в береговой зоне океанов, морей, водохранилищ оказывают абразивные процессы. В результате многолетних режимных наблюдений на Одесском и Крымском побережьях Черного моря [30], Азовском побережье, берегах крупных водохранилищ [37] установлена тесная связь динамики оползневых процессов с активностью абразии. Коэффициент корреляции между величиной абразии и оползневыми деформациями Южного берега Крыма, по данным И.Ф. Ерыша, достигает 0,9 [14]. На рис. 1.10 приведены примеры такой связи. Парагенетическая связь в данном случае выглядит следующим образом: абразия → оползни.

Парагентический комплекс селевого процесса включает оползни, обвалы, осыпи, эрозию, экзарацию и другие процессы. По отношению к селям эти процессы являются поставщиками твердой составляющей. Как правило, в очагах зарождения селей разви-

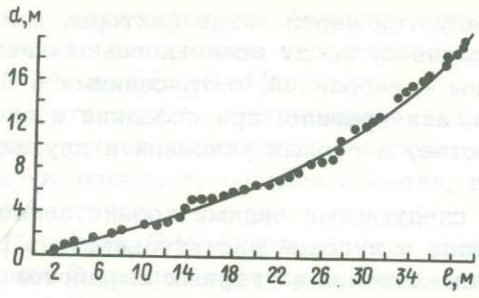


Рис. 1.10. График зависимости оползневых смещений d от переработки берегов l Камского водохранилища (по И.Л. Печеркину).

вается сразу несколько процессов. Генетический тип очагов выделяется по преобладающим процессам.

10. Антропогенная деятельность

Влияние деятельности человека на развитие оползней и селей, всех других экзогенных геологических процессов и в целом на геологическую среду становится все более сильным, масштабным и многогранным. "Если прежде при невысоком техническом развитии общества воздействие человека на земную кору было столь незначительно, что его можно было не принимать во внимание, – пишет академик Е.М. Сергеев, – то по мере роста технической вооруженности человек все более проникает в недра Земли. При этом его деятельность меняет не только лик земной поверхности, но и вносит такие значительные изменения в верхнюю часть земной коры, которые по масштабам и последствиям можно сопоставлять с геологическими процессами. К этим изменениям должно быть привлечено внимание планирующих и руководящих органов отраслей народного хозяйства" [19].

В СССР эта проблема всегда была в сфере внимания советских ученых. Еще в 1944 г. академик В.И. Вернадский определил понятие "ноосфера", "сфера разума" – приповерхностная часть земной коры, в которой сказывается влияние деятельности человека на геологические процессы [5]. "Ноосфера, – отмечал В.И. Вернадский, – есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой... Меняется лик Земли, исчезает девственная природа". В настоящее время исследованиями этой проблемы занимаются в СССР Е.М. Сергеев, Г.А. Голодковская, Ф.В. Котлов, В.Т. Трофимов, А.И. Шеко, В.В. Кюнтцель и др. Согласно существующим представлениям, воздействие человека на литосферу можно рассматривать в различных аспектах: по масштабам – глобальное, зональное, региональное, локальное.

Рассматривая антропогенную деятельность как фактор развития экзогенных геологических процессов [26], необходимо отметить следующие основные моменты: 1) деятельность человека может замедлить или активизировать процессы, а часто и вызвать явления, не свойственные данной территории, т.е. в целом определяет активность их проявления; 2) антропогенная деятельность не является фактором особенным или специфическим по характеру и механизму влияния на процессы, вызывающим возникновение и развитие принципиально новых, не встречающихся в природе типов генетических процессов; 3) антропогенная деятельность – это система различных факторов, механизм влияния которых зависит от конкретных условий и типа процесса; 4) деятельность человека, как фактор, может влиять на процессы непосредственно или косвенно, по времени – быстро или медленно. Если в конечном итоге изменение активности проявления процессов рассматривать как результат изменения условий их развития и, прежде всего, такого важного их компонента, как физические поля напряжений, влажности, температур и др., – то, очевидно, для процесса имеет значение характер и степень этих изменений, а не их происхождения – естественное оно, или вызвано человеком. Например, для оползней, связанных с увлажнением склонов, не имеет существенного значения то, как происходит увеличение влажности пород: за счет атмосферных осадков или за счет утечек из водопровода.

Влияние деятельности человека на развитие оползней разнообразно и осуществляется разными путями. Непосредственное воздействие связано с пригрузкой и подрезкой скло-

нов, с их обводнением. Косвенное влияние реализуется через такие факторы, как эрозия, абразия, растительность. Известно много случаев, когда возникновение оползней вызывалось динамическими нагрузками на склоны – вибрацией, сотрясениями и др. Значительная активизация оползней наблюдается, как правило, при создании и эксплуатации крупных водохранилищ, дорожном строительстве, в горных условиях и других видах деятельности.

Активизация селевых процессов связана со следующими видами хозяйственной деятельности человека [34, 62]: уничтожением лесов и луговой растительности в результате чрезмерного выпаса скота, размещением отвалов из горных выработок в руслах водотоков и в нижних частях склона; гидротехническим строительством и другими.

Можно привести многочисленные яркие примеры, характеризующие влияние деятельности человека на развитие и активизацию процессов, известные из многочисленной литературы [5, 17, 35], это влияние – бесспорно и не может не приниматься во внимание специалистами. Но вместе с тем необходимо отметить, что методика учета влияния антропогенных факторов на оползни и сели и прогноза возможных изменений активности проявления этих процессов в результате деятельности человека еще недостаточно разработана и требует объединенных усилий ученых всех стран.

Литература

1. Алисов Б.П. Климат СССР М.: Высшая школа, 1963, 109с.
2. Андриенко Л.Ф. Условия развития устойчивых восточных штормов на Черном море. Труды Одесского ГМИ, 1960, вып. XXI, с. 49–52
3. Г. Беньофф. Накопление и высвобождение деформаций по наблюдениям сильных землетрясений. "Слаб. землетрясения". М.: Мир, 1961, с. 199–219.
4. Благоволин Н.С., Горелов С.К., Пшенин Г.Н., Филькин В.А., Финько Е.А. О соотношении эндогенных и экзогенных процессов на геодинамических полигонах. "Соврем. движения земн. коры". Новосибирск: Наука, 1978, с. 108–114.
5. Вернадский В.И. Несколько слов о ноосфере. "Успехи соврем. биологии." М.: 1944, т. XVIII, вып. 2, 40 с.
6. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л: Гидрометеоиздат, 1971, 230 с.
7. Голодковская Г.А. Региональное инженерно-геологическое изучение территории на основе геолого-структурного анализа (на примере отдельных регионов Восточной Сибири). Автореф. диссерт. докт. геол.-мин. наук. М.: Изд-во МГУ, 1968, 46 с.
8. Горькова И.М. Теоретические основы оценки осадочных пород в инженерно-геологических целях. М.: Наука, 1966, 136 с.
9. Дзердзеевский Б.Л., Курганская В.М., Витвицкая З.М. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов. Труды НИИ ГУГМС, М.-Л.: 1946, сер. II. вып. 21,
10. Дзердзеевский Б.Л. Циркуляционные механизмы в северном полушарии в XX веке. "Материалы метеорологич. исследований". Труды Междуведомств. геофиз. комитета при Президиуме АН СССР. М.: 1968.
11. Дзердзеевский Б.Л. Сравнение главнейших закономерностей циркуляции атмосферы в южном и северном полушариях. "Инф. бюлл. Сов. Антрактич. экспедиции", 1970, № 65, с. 58–68.
12. Достовалов Б.Н., Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение. М.: Изд-во МГУ, 1967, 403 с.
13. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. М.: Недра, 1972, 310 с.
14. Ерыш И.Ф. Механизм типичных оползней Крыма и вопросы стационарного их изучения. Автореф. дисс. канд. геол.-мин. наук. М.: Изд-во МГУ, 1980, 32 с.
15. Золотарев Г.С., Калинин Э.В., Федоренко В.С., Шешеня Н.Л. Инженерно-геологическое изучение обвалов и других гравитационных явлений на горных склонах. М.: Изд-во МГУ, 1969, 139 с.
16. Золотарев Г.С., Кожевников А.В., Никитин Р.М., Федоренко В.С., Фиделли И.Ф.

Некоторые закономерности формирования оползней и обвалов и вопросы комплексности исследований (на примере бассейна р.Зеравшан). "Склоновые процессы". М.: Изд-во МГУ, 1974, вып.I,с. 5-41.

17. Золотарев Г.С. Современные задачи инженерно-геологического изучения оползней, обвалов и селевых потоков в горно-складчатых областях. "Геологич. закономерности развития оползней, обвалов и селев. потоков" М.: Изд-во МГУ, 1976, Вып. 1, с. 5-34.

18. Игнатьев Л.И. Основные закономерности регионального распространения оползне-эрозионных форм на территории Молдавии. "Эроз. и оползн. процессы на территории Молдавии." Кишинев: Изд-во Штинца " 1978, с. 20-26.

19. Инженерно-геологические аспекты рационального использования и охраны геологической среды. М.: Наука, 1981, 240 с.

20. Кириллова И.В., Люстих Е.Н., Растворова В.А., Сорский А.А., Хаин В.Е. Анализ геотектонического развития и сейсмичности Кавказа. М.: Изд-во АН СССР, 1960, 340 с.

21. Круподеров В.С. Изучение размываемости глинисто-обломочных пород (на примере четвертичных отложений долины р. Шинг Таджикской ССР). Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. М.: Изд-во МГУ, 1974, 23 с.

22. Круподеров В.С., Шеко А.И., Дьяконова В.И. Прогноз развития абразии на Черноморском побережье СССР. Экспресс-информация ВИЭМС, М.: 1976, серия: гидрогеология и инженерн. геология, № 8.

23. Кононова Н.К., Харламова И.В. Связь осадков и селей Черноморского побережья СССР с макроциркуляционными процессами. "Материалы метеорологич. исследований", Труды Междуведомств. геофиз. комитета при Президиуме АН СССР, М.: 1979, № 1, с. 59-76.

24. Кононова Н.К., Харламова И.В. Некоторые закономерности многолетних колебаний циркуляции атмосферы северного полушария климата и селевой деятельности. "Материалы метеорол. иссл-ний", Труды Междуведомств. геофиз. комитета при Президиуме АН СССР, М.: 1982, № 6, с. 6-56.

25. Корженевский И.Б., Лоенко А.А., Черевков В.А. Новые данные об оползневых явлениях Южного берега Крыма. "Совет. геология", 1968, № 12.

26. Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Недра, 1978.

27. Кульчицкий Д.И. Роль воды в формировании свойств глинистых пород. М.: Недра, 1975, 211 с.

28. Кюнтцель В.В. Закономерности оползневого процесса на Европейской территории СССР. М.: Недра, 1980, 213 с.

29. Лилиенберг Д.А. Бланко Сезунд П., Эрнадес Сантина Х., Диас Диас Х., Венерио Моралес А. Новые данные о взаимосвязи современных вертикальных движений, сейсмичности и морфоструктурной дифференциации Восточной Кубы. Докл. АН СССР, 241, № 1, с. 211-216.

30. Лужецкий А.И., Ерыш И.Ф., Коджаспиров А.А., Науменко П.И. Оползни Черноморского побережья Украины. М.: Недра, 1977, 103 с.

31. Лямзина Г. А., Иванова Т.Г. Зависимость интенсивности горизонтальных колебаний от крутизны склонов. "Вопросы инженерн. сейсмологии", М.: Наука, вып. 15, 1973.

32. Макеев З.А. Об асинхронности между оползневыми процессами на морских побережьях и склонах долин рек. "Природн. физико-геологич. и инженерно-геологич. процессы и явления". М.: Изд-во АН СССР, 1963, с. 82-91.

33. Методическое руководство по комплексному изучению селей. М.: Недра, 1971, 164 с.

34. Никитин Р.М., Фиделли И.Ф. Закономерности обводнения горных оползневых склонов (на примере Юго-Западного Тянь-Шаня). "Склоновые процессы", М.: Изд-во МГУ, 1978, вып. 3, с. 29-33.

35. Ниязов Р.А., Петрухина И.А., Мартемьянов В.И., Круковский Г.Л., Ходжаев М.Г. Динамика горных склонов Чаткало-Кураминской зоны. Ташкент: ФАН 1977, 166 с.

36. Петрова-Ясюнас Л.П. О механизме формирования ослабленных зон и подготовки оползневых процессов в поверхностной толще глинистых пород. "Инженерно-геологич. свойства глинист. пород и процессы в них". М.: Изд-во МГУ, 1973, вып. 3, с. 16-27.

37. Печеркин И.А. Геодинамика побережий Камских водохранилищ. "Геологич. процессы". Пермь, 1969, ч. 2, с. 159-206.

38. Саломатин В.Н. Особенности формирования твердого стока в юго-восточном селевом районе Крыма. "XV Всесоюзн. научно-технич. конференция по противоселев. мероприятиям". Тезисы докладов. Ташкент, М.: 1978, с. 141-145

39. Славянов В.Н. Вероятность развития оползней под влиянием гидрометеорологических факторов. "Соврем. методы прогноза оползн. процесса". М.: Наука, 1964 г., с. 76-79.

40. Сергеев Е.М., Голодковская Г.А., Зиангиров Р.С., Осипов В.И.,Трофимов В.Т., Грунтоведение. М.: Изд-во МГУ, 1971, 595 с.

41. Сергеев Е.М. Инженерная геология. М.: Изд-во МГУ, 1978, с. 147-384

42. Турманина В.И. Величина армирующей роли корней деревьев. "Вестн. МГУ". География. 1963, № 4, с. 17-22.

43. Турманина В.И. Опыт изучения взаимодействия растительности с оползневыми процессами. "Материалы совещания по изучен. оползней". Киев: 1964, с. 204-207.

44. Федоренко В.С. Развитие горных склонов. Типы оползней и обвалов (на примере бассейна р. Зеравшан). "Склоновые процессы". М.: Изд-во МГУ, 1978, вып. 3, с. 54-115.

45. Херасков Н.П. Тектоника и формации. Избранные труды. М.: Наука, 1967,407с.

46. Черножуков К.Н., Щукин Ю.К. Землетрясения в Китае и опыт оценки причиняемого ими материального ущерба. "Информ. бюлл. ин-та Дал. Вост. АН СССР", 1981, № 28, с. 35-56.

47. Чуринов М.В. Оползни Ульяновска и роль выветривания пород в подготовке склонов к смещению. "Вопросы гидрогеологии и инженерн. геологии". М.: 1957, сб. 15, с. 62-78

48. Шеко А.И., Круподеров В.С., Дворцов П.А., Дьяконова В.И., Харламова И.В. Прогноз экзогенных геологических процессов на Черноморском побережье СССР. "Проблемы инженерн. геологии в связи с рац. использованием геологич. среды (тема II, III)". Л.: 1976, с. 99-100

49. Шеко А.И., Круподеров В.С., Дьяконова В.И. Прогноз абразионных процессов Черноморского побережья СССР. "I съезд совет. океанологов". Тезисы докладов. М.: 1977, вып. 3, с. 200-201

50. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. М.: Недра, 1980, 296 с.

51. Шенк В., Шенкова З. Оценка периодичности землетрясений с помощью автокорреляционных функций временных рядов. "Geod. und Geophys." Veröff 1979, p. 3, № 43, с. 159-171.

52. Dzerdzeevskii B. Half-age variability of climate at the High Latitudes of the Northern Hemispere and some problems of climatological classification. Internat. Geograph. Congress, Stocholm, 1960

53. Dzerdzeevskii B. The General Circulation of the atmosphere as a necessary line in the Sunclimatic variations chain Ann, of the New-York Academy of sciences, vol. 95, art. 1, 1961

54. Dzerdzeevskii B. Fluctuation of the General Circulation of the Atmosphere and Climate in the XX Century (Rotoprint). UNESCO/WMO Symposium of Climate Change, 1961

55. Dzerdzeevskii B. Fluctuation of climate and of general circulation of the atomsphere in extratropical latitudes of the northern hemisphere and some problems of dinamic climatologie. Tellus, 1962, vol. 14, №3

56. Dzerdzeevskii B. Fluctuations of general circulation of the atmosphere and climate in the twentieth century-Arid zone research. 1963, vol. 20

57. Dzerdzeevskii B. An approach to study the global circulation of the atmosphere and related climatic fluctuations (after IGI data). Abstracts of papers, vol. IV, TAMAP, XIII General Ass

58. Dzerdzeevskii B. Some aspects of dynamic climatologie. Tellus, 1966, vol. 18, №4

59. Dzerdzeevskii B. Certain features of weather in the Coastal area of Eastern Antarctica–Antarctic Meteorology. Pergamon Press, 1960

60. Feld J. Discussion of Slope Stability in Residual Soils. Session 2, Proc., 4–th Pan–American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Juan, American Society of Civil Engineering, N.–Y., 1971, 3, 125 p.

61. Goldich E. A study in rock weathering. J. geol., 1938, vol. 46, №1

62. Gray D.H. Effects of Forest Clear–Cutting on the Stability of Natural Slopes. Bulletin. Association of Engineering Geologist, 7, №1–2, 1970, p. 45–66

63. Hudson N.W. Soil Conservation. BT Batsford Limited 4 Fitzharding Street, London W1, 1971

64. Odenstad S. The landslide at Sköttorp on the Sidan river. Royal Swed. Geotechn. Institute, Proc. №4, 1951

65. Kioo Modi. Global variation of seismic activity. Tecthonophysics, 1979, 57, №2–4, T43–T50

66. Robinson Russel. Variation of energy release, rate of occurence end b–Value earthquakes in the Main Seismic Region, New Zealand. Phys. Earth and Planet. Inter., 1979, 18, №3, p. 209–220

67. Papazachos B.C., Cominakis P.E. Long–term earthquakes prediction in the hellenic trench–arc system. Tectonophysics, 1982, 86, №1–3, p.3–16

68. Sieh Kerry E. Prehistoric large earthquake produced by slyp on the San Andreas fanlt at Pallet Creek, California. J.Geophys. Ress., 1978, B 838, №8, p. 3907–3939

Глава 2

ОПОЛЗНИ

Термин "оползень" в данной работе часто используется как синоним оползневого процесса или процесса оползания, хотя нередко употребляется и в другом смысле, как вещественное проявление названного процесса или смещающаяся (смещенная) часть горных пород. Имеется ряд определений понятия оползень, из которых наиболее полным является определение Е.П. Емельяновой [15]. Большинство исследователей сходятся на том, что, в отличие от обвалов и других склоновых процессов, оползень – это смещение части горных пород на более низкий гипсометрический уровень при сохранении контакта с неподвижным основанием.

1. Классификация оползней

В настоящее время число классификаций оползней весьма велико. Они базируются на различных принципах и не всегда имеют четкое целевое назначение. Некоторые из них не во всем удовлетворяют требованиям формальной логики. В зависимости от того, охватывают классификации все множество оползней, распространенных на земном шаре, или только их часть в каком–либо ограниченном регионе, они делятся на универсальные (общепланетарные) и региональные. Каждая из этих двух групп может быть подразделена на общие и частные классификации. Общие классификации основываются на наиболее важных, интегральных, обобщенных признаках, отражающих физическую сущность оползневого процесса, а частные – на более второстепенных, отдельных признаках, отражающих ту или иную сторону этого процесса. Для некоторых практических целей такие классификации не менее важны, чем общие.

В СССР наиболее широкой известностью пользуются универсальные классификации оползней А.П. Павлова [29], Ф.П. Саваренского [33], Н.Н. Маслова [24], А.М. Дранникова [8], И.В. Попова [3], Г.С. Золотарева [16, 17], Г.Л. Фисенко [38], М.К.Рзаевой [3], К.А. Гулакяна и В.В. Кюнтцеля [4], Е.П. Емельяновой [15] и др. В странах Западной Европы и США наиболее популярны классификации оползней К.Терцаги [54], С. Шарпа [52]. Д.Варнеса [48. 49].

Особенно много создано региональных классификаций, нередко построенных без увязки с универсальными классификациями. Они основываются на различных, далеко не всегда существенных признаках, что затрудняет их сопоставление. Общим недостатком боль-

шинства классификаций оползней является отсутствие четко определенных операций по распознаванию в натурных условиях выделяемых категорий оползней. Существенным препятствием в создании унифицированной классификации оползней служит различие терминологической, а иногда и понятийной базы в разных странах мира. Все большее и большее число исследователей склоняется к тому, что расчленение оползней на отдельные типы наиболее целесообразно производить по механизму оползневого процесса, под которым мы понимаем закономерную последовательность взаимодействия отдельных частей (элементов) оползневой зоны, обусловленную воздействием внешних факторов и изменением состояния геологической среды. Использование указанного критерия важно еще и потому, что достаточно отчетливо устанавливается связь механизма оползней с составом, структурой, состоянием и свойствами горных пород. Их широкий диапазон и различия в характере залегания предопределяют разнообразие оползней, которые отличаются друг от друга по многим своим параметрам.

Таблица 2.1

Сопоставление существующих классификаций оползней по типам их механизма

Авторы и год опубликования классификации	Варнес Д. 1958	Рзаева М.К. 1969	Золотарев Г.С. 1970	Гулакян К.А., Кюнтцель В.В. 1970	Варнес Д. 1978	Кюнтцель В.В. 1980
Типы оползней по их механизму	Скольжение	Блоковые, срезающие		Скольжения	Скольжение	Скольжения
		Соскальзывание	Соскальзывание (консеквентные)			
		Сползания				
		Выдавливания (одесского типа)	Выдавливания (детрузивные)	Выдавливания	Выдавливания	Выдавливания (сдвига)
		Суффозионные, выплывания	Выплывания	Выплывания		Выплывания
			Суффозионные			
	Течения	Просадочные	Потоки и сплывы	Проседания	Течения	Проседания
		Потоки (течения, оползания)		Течения		Течения (потоки
		Сплывы, оплывины				
		Норвежского типа	Разжижения	Разжижения		Разжижения

Существующие представления о механизме оползания положены в основу ряда современных классификаций оползней. В таблице 2.1 приведены результаты сопоставления шести наиболее полно разработанных классификаций оползней по типу их механизма. Анализ показывает, что, несмотря на существующие различия по количеству выделяемых типов и их наименованиям, эти классификации во многом сходны. Достаточно сопоставимы и характеристики механизмов оползневого процесса. Это позволяет надеяться, что по данному критерию сравнительно легко может быть построена унифицированная классификация оползней. Основная трудность в ее создании заключается в недостаточной изученности механизма некоторых типов оползней. Не исключено существование ряда совершенно не изученных в этом отношении типов оползней, например, грандиозных по масштабам проявления оползней в горно-складчатых областях, оползней в морских акваториях и др. В то же время нельзя обойти молчанием существенные различия в понимании характерных особенностей механизмов отдельных типов оползней различными исследователями. Особенно это касается оползней выдавливания. Так, по мнению Д. Варнеса [48] отличительной особенностью оползней этого типа является отсутствие четко выраженной поверхности смещения или зоны пластических деформаций. К другой разновидности оползней выдавливания, по Д. Варнесу, относится расползание блоков скальных и рыхлых пород, обусловленное пластическими деформациями подстилающих пород. По нашему мнению, поверхность или зона смещения – обязательный элемент любого оползневого процесса. Не лишены его и оползни выдавливания, что же касается возможности выявления поверхности смещения в конкретных условиях, то это частный технический вопрос. Поверхность или зона смещения в оползнях выдавливания в большинстве случаев приурочена к горизонтально или почти горизонтально залегающим глинистым породам и, как правило, также ориентирована горизонтально на значительном своем протяжении. Сдвиг по горизонтальной поверхности является важной особенностью механизма оползней этого типа. Подчеркивая указанное обстоятельство, мы предложили называть данный тип оползней – оползнями сдвига. Деформации в глинистых породах выше зоны смещения носят хрупко-пластический характер. При этом наблюдаются постепенные переходы от преимущественно пластических деформаций (оползни в четвертичных и неогеновых глинах) до преобладания хрупких деформаций (оползни в триасовых, пермских и более древних по возрасту аргиллитах и глинистых сланцах).

Таким образом, к типу оползней выдавливания (сдвига) мы относим и те оползни в горизонтально залегающих глинистых породах, которые, по классификации Д.Варнеса [48], именуются оползнями скольжения. Нет полного соответствия в понимании различными авторами особенностей механизма оползней скольжения и течения. Далеко не всеми исследователями признается самостоятельное значение оползней проседания, выплывания и разжижения. В отдельных регионах обычно встречаются один, реже два или три типа оползней, поэтому для выявления имеющихся существенных различий между ними могут быть использованы другие классификационные признаки. В качестве универсальной таксономической единицы более высокого порядка может выступать класс оползней, устанавливаемый по составу, возрасту и генезису пород основных деформирующихся горизонтов (ОДГ), распространенных на исследуемой территории. Под ОДГ мы понимаем такое геологическое тело, деформации которого приводят к нарушению естественного залегания и деформациям всего комплекса геологических тел в пределах оползневой зоны. По этому объективному признаку в пределах Русской платформы выделены классы оползней в глинах московского яруса среднего карбона, в глинах и аргиллитах верхней перми, в глинах верхней юры, в глинах киевского яруса палеогена, в песках нижнего мела и т.д. В пределах Крымского мегантиклинория широкое распространение имеют классы оползней в глинистых сланцах таврической серии, верхнего триаса – нижней юры, в глинах майкопского яруса верхнего палеогена – нижнего неогена и т.д. Деформационное поведение пород ОДГ во многом предопределяет особенности механизма оползневого процесса. Поэтому при региональных исследованиях, когда, как правило, отсутствует возможность детального изучения механизма оползневого процесса, выделение типов и классов оползней может быть произведено путем выявления ОДГ, определения их состава, характера залегания, возраста и генезиса. Надежность распознавания оползней существенно повышается в случае, если

в пределах изучаемой территории организованы опорные стационары, на которых проводятся детальные инженерно-геологические исследования, включая изучение прочностных, деформационных и реологических свойств пород и наблюдения за режимом оползней.

Из числа частных классификаций оползней особенно полезны морфологические (по форме проявления оползней) и генетические (по виду воздействующих на оползневой процесс быстроизменяющихся факторов). Примерами могут служить морфологическая классификация оползней Е.П. Емельяновой [11], генетическая классификация оползней Крыма И.Б. Корженевского [18] и др. Работа по созданию унифицированных универсальных классификаций оползней, как и других ЭГП, является одной из главных задач инженерной геодинамики в настоящее время.

2. Особенности механизма различных типов оползней

Особенности инженерно-геологических условий территорий и в первую очередь состав, структура и свойства пород стратиграфо-генетических комплексов, слагающих склоны, обусловливают неравномерность распределения различных типов оползней как в целом на земном шаре, так и в отдельных геологических регионах. Известно, что значительная часть континентов в геотектоническом отношении представлена платформами и предгорными впадинами, в верхних структурных этажах которых залегание пород в основном близко к горизонтальному. В их составе часто встречаются относительно однородные в литологическом, стратиграфическом и фациальном отношении геологические тела, с которыми связано возникновение и развитие оползневого процесса. Чаще всего в качестве ОДГ выступают глинистые породы, поэтому преобладающим типом оползней в этих условиях являются оползни выдавливания (сдвига), на фоне которых нередко развиваются оползни других типов, преимущественно оползни течения. В пределах развития лессовых пород доминирующим типом становятся оползни проседания, а в районах развития высокочувствительных современных морских отложений – оползни разжижения. В горно-складчатых областях преобладают оползни скольжения в скальных и полускальных породах и оползни течения в покровных образованиях. Другие типы оползней встречаются сравнительно редко.

Часто принято разделять все оползни на глубокие и поверхностные, что не лишено определенного смысла, т.к. в крайних своих проявлениях эти две группы достаточно резко отличаются друг от друга. Однако четкой границы между ними не существует. Это могла бы быть нижняя граница зоны выветривания, но и она не всегда определена. Известны случаи, когда зона выветривания простирается на большую глубину, а границы ее проводятся очень условно. По тем же причинам это не может быть граница между четвертичными и более древними отложениями. Поэтому разделение оползней по их механизму мы будем производить на одном иерархическом уровне, выделяя шесть существенно отличных друг от друга типов оползней: скольжения, выдавливания, выплывания, течения, проседания и разжижения рис. 2.1. Каждый из них может быть более дробно разделен на классы по составу пород ОДГ, с которыми связаны оползни. Некоторые примеры таких классов оползней и их отдельных типичных представителей приведены ниже.

О п о л з н и с к о л ь ж е н и я являются одним из наиболее распространенных типов оползней на земном шаре. Они связаны с различными по составу, возрасту и генезису скальными и полускальными породами, сильно дислоцированными или имеющими моноклинальное залегание и нередко нарушенными тектоническими и иного генезиса трещинами. Различие состава деформирующихся пород и их структуры предопределяют существенные различия морфологии, морфометрии и динамики оползней этого типа. Для них характерно также блоковое строение, наличие наклонной поверхности или зоны, часто совпадающей с плоскостями напластования, рассланцованности, с крупными тектоническими разломами или другими ослабленными зонами в массивах горных пород.

Различаются две основные разновидности оползней скольжения. Первая из них характеризуется смещением блоков пород по наклонному контакту слоев одного или различного петрографического состава. Такие оползни Ф.П. Саваренский [33] называл консеквентными. Другие исследователи именуют их оползни соскальзывания. Вторая разновидность этих оползней – инсеквентные, по Ф.П. Саваренскому, или срезающие

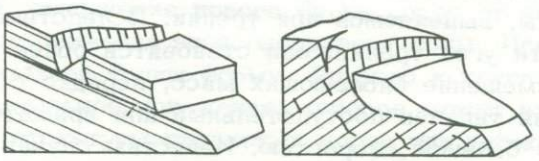
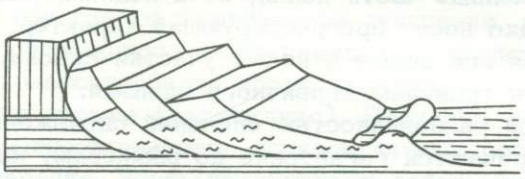
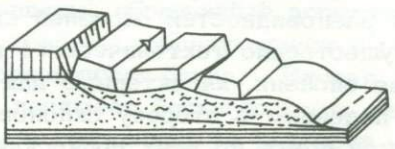
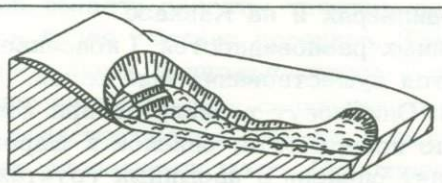
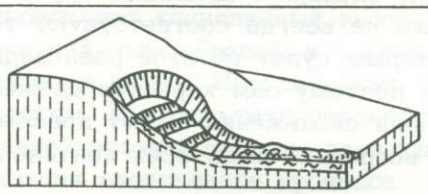
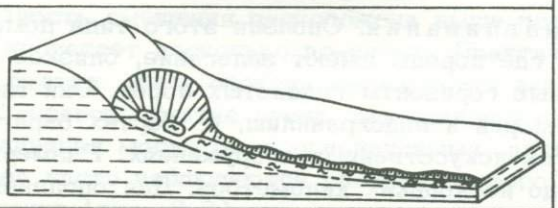
NN п/п	Название типа оползня по его механизму	Типовые схемы
1	Скольжения	
2	Выдавливания	
3	Выплывания	
4	Течения	
5	Проседания	
6	Разжижения	

Рис. 2.1. Схема типов оползней

(по другим авторам) отличается тем, что смещение происходит по ослабленным зонам, пересекающим слои горных пород. Наиболее детально механизм оползней скольжения описан в работах [15, 22, 24, 25, 37, 48, 49]и др. Отдельные разрозненные сведения о них содержатся во многих работах.

Основные особенности механизма оползней скольжения заключаются в следующем. Первичному оползню предшествует, как правило, длительная подготовка. По мере изменения конфигурации склона под влиянием современных тектонических движений, глубинной и боковой эрозии, абразии, техногенных и ряда других факторов меняются характеристики поля напряжений, а также состав и свойства слагающих слои пород. Под воздействием гравитационных, гидростатических и сейсмотектонических сил на отдельных участках склона формируются зоны, в которых развиваются деформации хрупкого разрушения или медленной ползучести. Последовательное преодоление пикового сопротивления пород сдвигу [53] вызывает возникновение дополнительных напряжений в соседних участках, что завершается прогрессирующим разрушением в зоне смещения. Наличие в порядах различных дефектов способствует ускорению оползневых деформаций. На завершающем этапе (стадия основного смещения) блоки пород смещаются по ослабленным зонам

на более низкие гипсометрические уровни. При большой глубине захвата пород оползнем во время формирования поверхности смещения, по-видимому, существенное значение имеет образование пленки стекловатых пород, в результате их частичного плавления за счет теплоты, выделяемой при трении. Вследствие этого снижается прочность пород, в особенности угол трения, они становятся более хрупкими, а по зонам ослабления происходит смещение оползающих масс, нередко с большими скоростями. Для оползней скольжения типичен поступательный или вращательно-поступательный характер движения, иногда с большой скоростью. Известны случаи, когда оползни не только перемещались в пониженные части долин, но и поднимались на их противоположные склоны. Движение нередко носит прогрессирующий характер, т.е. в оползневой процесс постепенно вовлекаются все новые и новые участки склона, расположенные выше или примыкающие с боков к границам первичного оползня.

Наиболее сложной разновидностью оползней скольжения являются инсеквентные оползни. Среди них встречаются гигантские по размерам, например, Усойский оползень 1911 г., в результате смещения которого образовалось Сарезское озеро на Памире (СССР). Смещение этих разновидностей оползней скольжения происходит по сложной системе трещин, преимущественно тектонического происхождения. Более просты по механизму консеквентные оползни, характерные для районов, где породы имеют моноклинальное залегание с падением в сторону склонов. Примеры таких оползней многочисленны. Они встречаются почти по всех горноскладчатых областях, в частности, в Гималаях, Альпах, Кордильерах и на Кавказе.

Помимо двух указанных разновидностей (консеквентные и инсеквентные оползни), теоретически допускается существование еще одной, названной Ф.П. Саваренским "асеквентные" оползни. Они могут возникнуть при изотропном составе пород, когда смещение происходит по поверхности, близкой к шаровой. В качестве примеров таких оползней часто приводят оползни в насыпных грунтах . Однако конкретные их описания очень редки и далеко не всегда соответствуют теоретическим построениям. Элементы вращения, по которым судят об этой разновидности оползней, присущи многим другим типам оползней, поэтому сам характер движения не может являться признаком данного типа. Оползни скольжения имеют повсеместное распространение в горноскладчатых областях и встречаются на всех континентах и во всех климатических зонах.

Оползни выдавливания. Оползни этого типа доминируют в условиях платформенных структур, где породы имеют залегание, близкое к горизонтальному, и встречаются выдержанные горизонты глинистых пород. Они широко распространены по берегам рек, озер, морей и водохранилищ, в бортах оврагов и карьеров, в дорожных выемках и в других искусственных сооружениях. Размеры их колеблются от нескольких десятков метров до нескольких километров. Для оползней выдавливания характерна фронтальная или циркообразная форма в плане и блоковое строение.

Механизм оползней выдавливания несколько сложнее, чем оползней скольжения. Изучению его посвящен ряд работ, в том числе работы Н.Я. Денисова [6,7], Н.Н. Маслова [24, 25], К.Терцаги и Р.Пэка [55], Е.П. Емельяновой [10, 15], Г.И.Тер-Степаняна [36], В.В. Кюнтцеля [19, 22], К.А. Гулакяна [3], П.Н. Науменко [26], И.А. Печеркина [30], Д.Варнеса [48] и многих других. Различные авторы по-разному описывают механизм оползней выдавливания, иногда неоправданно расширяя или сужая объем данного типа. Далеко не однозначна сама трактовка термина "выдавливание".

Для правильного понимания механизма оползней выдавливания необходимо учитывать прочностные, деформационные, в том числе реологические характеристики пород ОДГ, с которыми связаны оползни. Эти характеристики в значительной мере предопределяют особенности механизма оползневого процесса. Под воздействием различных совокупностей природных и техногенных факторов происходит постепенное увеличение касательных напряжений в наиболее ослабленных частях склона и в первую очередь в глинистых породах ОДГ. Это приводит к возрастанию в них скоростей деформаций до критических, что в конечном итоге вызывает нарушение устойчивости всего оползневого склона. Характер оползневых деформаций изучен еще недостаточно. Он зависит не только от состава и свойств пород ОДГ и всего комплекса пород, слагающих склон,

но и от величины и скорости изменения поля напряжений и его структуры. На определенном этапе развития оползня, на склоне или в прибровочной части плато возникает трещина растяжения, часто именуемая трещиной закола, по которой происходит постепенное, иногда очень быстрое, отчленение нового блока пород от коренного склона. Это в свою очередь резко ускоряет движение всей оползневой зоны. Поверхность смещения, имеющая в пределах перекрывающей толщи форму, близкую к круглоцилиндрической, в ОДГ занимает почти горизонтальное положение, которое может измениться только в случае местных особенностей структуры глинистых пород или дефектов в них. В оползневой зоне формируется три области, отличающиеся по характеру протекающих деформаций. Одна из них, называемая область растяжения или опускания, занимает верхнюю часть оползневого склона и прибровочную часть плато. Она характеризуется постепенным отделением от коренного массива блока пород, опускающегося с запрокидыванием по сравнительно крутой трещине отрыва (растяжения). Величины вертикальных составляющих вектора смещений превышают значение горизонтальных составляющих и имеют, как правило, отрицательное значение. Здесь преобладают деформации растяжения. Типичны раскрытые, дугообразные трещины, обращенные вогнутостью в сторону движения, а также крутые оползневые рвы и грабены, образующиеся в результате клинообразного проседания отдельных частей отчленяющегося блока. Вторая область, называемая областью перемещения или транзита, занимает большую часть склона, иногда до самого его подножья. Здесь горизонтальные составляющие векторов смещения заметно преобладают над вертикальными. В этой области развиты трещины различного типа, нередко оконтуривающие оползни второго и более высоких порядков. Третья область, или область сжатия и поднятия, занимает полосу вдоль подножья склона и отдельные участки впереди нее. В ней заметно возрастают вертикальные составляющие векторов смещений, направленные вверх. Образование области сжатия связано с сопротивлением пород, не захваченных оползанием, движению оползающих масс. При определенных условиях в центральной части зоны сжатия происходит клиновидный выпор пород вверх с образованием вала. Вал сжатия формируется главным образом в стадию основного смещения и сохраняется обычно непродолжительное время. Иногда в зоне сжатия породы выпирают в виде клина по наклонным плоскостям. В результате воздействия различных факторов, например, морской абразии или речной эрозии, породы, слагающие вал сжатия размываются, что ведет к новой активизации оползневого процесса.

В том случае, когда поверхность смещения расположена выше подошвы склона, развитие оползней выдавливания протекает несколько по-иному. Практически отсутствует или сильно сужается область сжатия. Язык оползня выдвигается вниз по склону, что вызывает нередко перекрытие оврагов, сжатие русел рек, накопление вдольбереговых наносов и т.д. Оползни выдавливания могут быть одноярусными, двух- и многоярусными. На фоне крутых оползней часто наблюдаются оползни второго порядка других типов, в основном оползни течения (рис. 2.2).

В зависимости от состава и свойств пород ОДГ выделяются различные классы оползней выдавливания, существенно различающиеся по размерам, форме, особенностям механизма и режима оползневого процесса. Для оползней, приуроченных к прочным глинистым сланцам и аргиллитам, термин "выдавливание" применим весьма условно. Здесь развиваются преимущественно хрупкие деформации. Однако, при определенных условиях, например, на очень высоких склонах, могут возникать пластичные и хрупкопластичные деформации. Примерами могут служить оползни в пермских отложениях Прикамья (СССР), механизм которых подробно описан И.А. Печеркиным [30]. С слабоуплотненных и литифицированных глинах оползни выдавливания, наоборот, отличаются отчетливо выраженным пластическим характером деформирования. Пластичные глины нередко выжимаются в пространство между блоками, образуют крупные валы сжатия. Мощность глинистых слоев в смещенных блоках значительно отличается от их мощностей в коренном залегании. Подобные оползни многочисленны, например, в южных районах Русской платформы, где развиты глины неогенового и четвертичного возраста.

Промежуточное положение занимают оползни, связанные с глинистыми породами средней степени литификации и уплотнения. Типичными примерами могут служить оползни, связанные с глинами меотического яруса неогена в Одессе и с глинами оксфордского яруса юры в Москве и Подмосковье. Оползни этих классов имеют обычно крупные

5386

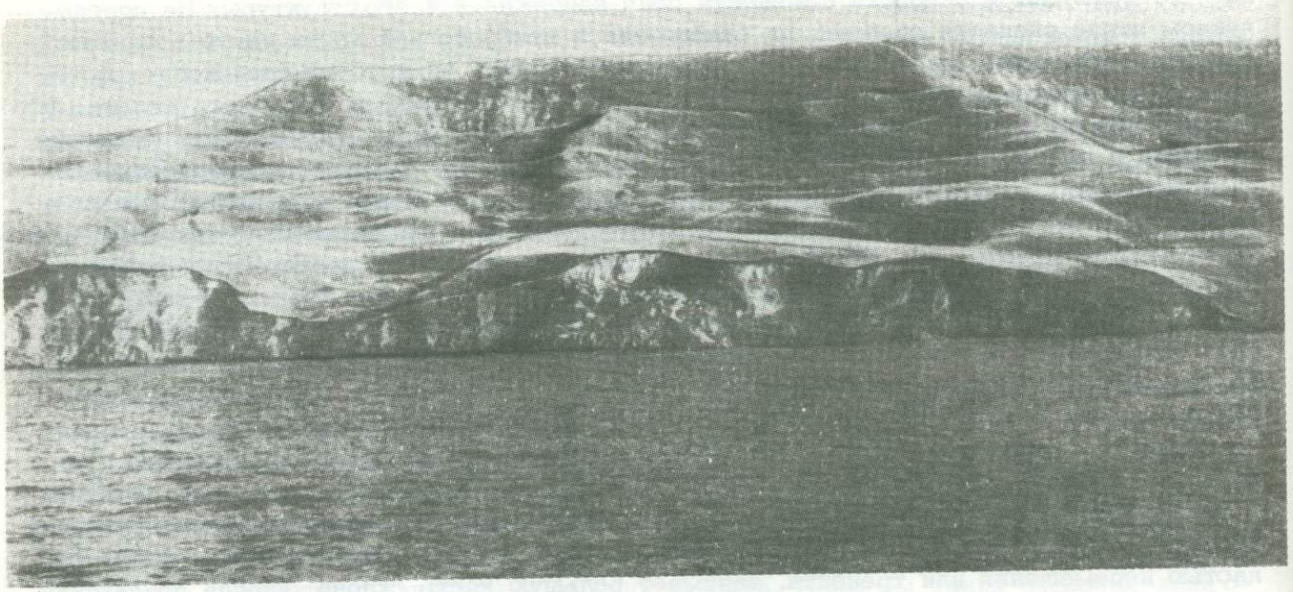


Рис. 2.2. Оползни выдавливания на берегах Куйбышевского водохранилища (фото Г.И. Тарасовой)

размеры и фронтальную форму в плане. Протяженность отдельных оползневых участков достигает иногда двух и более километров. Отчетливо выражены границы отдельных блоков пород, часто запрокинутых в сторону плато. В глинистых породах ОДГ наблюдаются как хрупкие, так и пластичные деформации. Смещение пород происходит в основном по поверхности, близкой к горизонтальной, расположенной в пределах ОДГ. Скорости смещения в стадию подготовки обычно не превышают 10 – 20 см/год, а в стадию основного смещения возрастают до нескольких м/сут. Продолжительность полного оползневого цикла для условий Одессы составляет от 20 – 30 до 105 лет, а для Подмосковья – несколько сот лет.

Разнообразие состава и свойств пород ОДГ, а также перекрывающей их толщи предопределяет различие форм оползней и многие особенности их механизма. По количеству проявлений оползни выдавливания занимают одно из первых мест среди прочих оползней, но по интенсивности развития уступают большинству других их типов.

Оползни выплывания. Механизм оползней этого типа изучен еще очень слабо. Впервые он был описан К.Терцаги [54] на примере оползня в районе г. Мемфис, на реке Миссисипи, США. По мнению Е.П. Емельяновой [12, 15], оползни выплывания образуются в результате выпора плывунных пород (суффозия массы), вовлекающих в движение породы перекрывающей толщи. Исследования последних лет показали , что нередко в качестве ОДГ выступают песчаные тонкозернистые породы с коллоидными связями. Разрушение структурных связей вызывает значительные деформации в песчаных породах, переход их в плывунное состояние и смещение вышележащих пород. В этом случае процесс выплывания играет вспомогательную роль, а скорости движения оползней уменьшаются по сравнению с теми оползнями, которые возникают при значительном внезапном выплывании песчаных или пылеватых пород. Один из наиболее крупных оползней выплывания возник в ночь на 31 августа 1966 г. на р. Оке, в Прибайкалье, в районе селения Артумей (СССР). В результате внезапного выплывания песчаных пород в реку произошло смещение оползающих масс на протяжении около 0,5 км вдоль берега с образованием ступенчатого рельефа (В.И. Астраханцев, Г.М. Пуляевский, 1969). Согласно наблюдениям К.Терцаги [54], текучесть песков распространяется от области выклинивания подземных вод по склону и охватывает каналообразующую полосу. Такое развитие подземного потока связано со значительным изменением плотности пород при выплывании, что возможно лишь после их частичного выноса. Под влиянием деформации в песках начинает разрушаться вся вышележащая толща, появляются многочисленные трещины, разбивающие породы на блоки, которые движутся с запрокидыванием в сторону выпора. Весьма вероятно, что распространенность опол-

зней выплывания более значительна, чем это принято считать в настоящее время. Разрушениям, в том числе и оползневого характера, вызванным суффозией в песках, залегающих на водоупорных породах, посвящена работа Дж. Хатчинсона (1982).

Оползни течения (оползни-потоки). Оползни этого типа встречаются практически на всем земном шаре и по числу проявлений, бесспорно, занимают первое место. Однако размеры большинства из них незначительны. Такие мелкие оползни обычно именуются оплывинами и сплывами. Наряду с ними встречаются крупные оползни течения, захватывающие значительные по площади участки. Для оползней данного типа характерна тесная связь с корой выветривания пород. В горно-складчатых областях оползни течения связаны в основном с элювиально-делювиальными глинистыми и крупнообломочными покровными образованиями и рыхлыми оползневыми накоплениями. Нередко они образуются в отвалах горных выработок. Механизм оползней течения описан в работах К. Терцаги [54], С. Шарпа [52], Н.Н. Маслова [24, 25], Н.Я. Денисова [6], А.М. Дранникова [8], Д. Варнеса [49], М.Н. Гольдштейна и др. [2], К.Ш. Шадунца [41] и ряда других исследователей.

Характерным внешним признаком многих оползней течения является их глетчеровидная форма, однако встречаются и другие морфологические разновидности. Часто смещение захватывает всю зону выветривания, но наряду с основной поверхностью смещения встречается ряд дополнительных, по которым периодически синхронно или асинхронно с главным также происходит движение [39]. Типичной особенностью механизма оползней течения является полная или частичная потеря первичной структуры пород в зоне смещения вследствие изменения их влажности. Под воздействием гравитационных, а во многих случаях и гидродинамических сил происходит водно-пластическое течение глинистых пород по заранее подготовленной или сформировавшейся в процессе оползания поверхности. Е.П. Емельянова [15], рассматривая механизм образования оплывин, придает большое значение местным возрастаниям гидродинамического давления в неравномерно проницаемых покровных образованиях. По мере движения оплывин давление быстро снижается, что обусловливает кратковременность их развития и небольшую величину перемещения по склону. В зоне многолетнемерзлых пород механизм оползней течения заметно усложняется и они приобретают характер солифлюкции, которую многие исследователи считают особым видом экзогенных геологических процессов.

Оползни проседания. Самостоятельность этого типа оползней признается далеко не всеми исследователями. Оползни проседания локализуются в области распространения лессов и лессовидных пород. Механизм этого типа оползней изучен еще недостаточно. Наиболее подробно он описан для условий Средней Азии, СССР [27].

Особенности механизма оползней проседания во многом предопределяются деформационным поведением лессовых пород, которые при увлажнении обладают способностью лавинного разрушения первичной структуры, сопровождающейся просадочными явлениями. На начальных этапах развития оползневого процесса в лессах, вследствие неравномерной просадочности возникают трещины, облегчающие атмосферным осадкам доступ в более глубокие слои лессовых пород. В результате значительного увлажнения прочность этих пород может снизиться в несколько раз. Начавшийся процесс лавинного разрушения первичной структуры пород приводит к отчленению оползневых масс от склона. Смещение происходит в виде отдельных блоков пород, которые в процессе движения разрушаются, переходя в земляные потоки. Скорости движения достигают несколько м/сек.

Резкое изменение напряженного состояния пород в результате сильных землетрясений так же способно вызвать оползание лессов или ускорить начавшийся оползневой процесс. По своей природе оползни проседания относятся к категории наиболее опасных оползней и могут сопровождаться крупными разрушениями и людскими жертвами.

Оползни разжижения. Оползни данного типа распространены в областях развития молодых глинистых отложений, преимущественно моренного генезиса, характерным свойством которых является высокая чувствительность, во много раз превышающая показатель чувствительности нормальных глин. Глины этой категории обладают способностью внезапного разжижения и перехода в текучее состояние при нарушении их первичной структуры.

Механизм оползней разжижения подробно освещен в работах Л. Бьеррума [46],

Л.Бьеррума и Б.Кернсли [47], Д. Мейерхофа [50], И. Розенквиста [51] и ряда других исследователей. По мнению Л. Бьеррума, вследствие постоянного выщелачивания глинистых пород в течение длительного периода происходит медленное снижение их прочности. Уменьшение концентрации солей в поровых растворах вызывает уменьшение активности глинистых минералов и тем самым повышает чувствительность глин. Вследствие процесса выщелачивания сопротивляемость пород сдвигу может снизиться до 30%. Оползни разжижения отличаются внезапностью проявления. Часто они возникают без видимых внешних воздействий, но иногда причиной их возникновения является речная или овражная эрозия, а также искусственная подрезка склонов. Быстро формируется оползневая депрессия диаметром в несколько десятков метров, через узкую горловину которой вытекают разжиженные массы, перемещаясь в виде грязевого потока нередко на расстояние в несколько километров. Почти каждый из таких оползней представляет впечатляющее событие и иногда сопровождается гибелью людей или скота.

Оползни разжижения особенно развиты на побережье Норвегии и в Канаде. В СССР, США и других странах они встречаются редко.

Не исключено, что, помимо вышеописанных типов оползней, в природе могут быть встречены и другие их типы по характеру своего механизма. Однако для их выявления необходима постановка детальных исследований. В этом отношении особенно перспективны горно-складчатые области, где развиваются крупные по масштабам оползни, механизм которых изучен очень слабо. Необходимо также более углубленно изучать механизм известных типов оползней, многие особенности которых еще нуждаются в выяснении и уточнении. При этом следует опираться на несомненную связь между механизмом оползневого процесса и прочностными, деформационными и реологическими свойствами пород, в особенности пород ОДГ, с которыми связаны оползни.

Установление общих типовых закономерностей и анализ различий между отдельными типами и классами оползней позволит усовершенствовать их диагностику и классификацию, а также методы региональных и локальных прогнозов. Конкретные примеры оползней, различных по типу их механизма, приведены в работах (15, 22, 48, 54, 56) и в ряде других монографий, а также в многочисленных статьях исследователей разных стран.

3. Особенности развития оползней в различных инженерно-геологических условиях

Инженерно-геологические условия исследуемых территорий предопределяют распространение оползней, частоту их возникновения, степень пораженности ими склонов и интенсивность развития, механизм и динамику оползневого процесса. Е.М. Сергеев [34] выделяет две основные группы факторов, определяющих инженерно-геологический тип территории: региональные геологические и зональные геологические. Обе группы факторов находятся в тесной связи.

К числу главнейших региональных геологических факторов, определяющих закономерности возникновения, распространения и развития оползней, относятся геоструктурные. В этом отношении весь земной шар разделяется на две основные части: континенты и океаны. В рамках данной работы главное внимание уделено первому геоструктурному элементу в связи с тем, что сведения об оползневом процессе в акваториях весьма ограничены. Вследствие этого особенности развития оползней рассматриваются нами только для условий суши, и, частично, прилегающих к ней участков шельфа и континентального склона.

На данном иерархическом уровне целесообразно разделить всю геоструктуру континентов на две основные категории, которые, по существующей традиции, мы будем именовать платформенными и горно-складчатыми областями. Своеобразие инженерно-геологических условий в каждой из них позволяют нам рассматривать особенности развития оползней раздельно для платформ и горно-складчатых областей.

Особенности развития оползней на платформах

К числу региональных геологических факторов, определяющих закономерности возникновения, распространения и развития оползней, относятся состав, структура, сос-

тояние и свойства горных пород, которые во многом зависят от их генезиса, возраста, геодинамики, процессов осадконакопления и литогенеза, обусловливающих степень литификации, уплотнения, увлажнения и другие важнейшие свойства пород, а также степень их нарушенности. Как было показано выше, они являются главнейшими классификационными признаками, позволяющими объективно разделить оползни на типы и классы. Особенное значение имеют состав и свойства пород ОДГ, входящих, как правило, в состав платформенного чехла. Это повышает требование к надежности их выделения в натурных условиях и детальному изучению. Особенно важно изучение деформационных и реологических свойств пород, что в настоящее время производится далеко не всегда. Слабо изучены предельные значения оползневых деформаций в различных инженерно-геологических условиях. Выявление таких зависимостей имеет большое значение для локальных временных прогнозов оползней.

На платформах ОДГ чаще всего представлены глинами или глинистыми породами различной степени литификации, уплотнения и увлажнения, реже песчаными, лессовыми и лёссовидными породами или породами иного состава, например, торфом, углем и т.д. Некоторые слои и толщи глин имеют очень широкое распространение в пределах одного или нескольких геологических регионов или их значительных частей. Так, в пределах Русской платформы широкое распространение имеют глины верхнеюрского возраста, с которыми связаны многие оползни выдавливания. На той же платформе широко распространены глины мелового и каменноугольного возрастов, обусловливающие многочисленные проявления оползней. Подобные явления характерны практически для всех платформенных областей земного шара. Большие площади на платформах нередко занимают лёссы и лёссовидные суглинки, в которых активно развиваются оползни проседания. Более ограничены по площади горизонты песчаных пород, в частности, тонкозернистых глинистых и пылеватых песков, с которыми связаны оползни выплывания, или морских высокочувствительных глин, в которых образуются оползни разжижения. Сравнительно редко в оползание вовлекаются также породы кристаллического фундамента платформ. Обычно оползни возникают в сильно выветрелой, элювированной зоне, на тех участках, где фундамент обнажается на поверхности земли. В основном они развиваются как оползни течения, реже скольжения. Описанные случаи образования подобных оползней в платформенных условиях весьма редки. Другая группа региональных геологических факторов связана со структурно-тектоническими особенностями территории, которые предопределяют характер залегания горных пород, степень их литификации, метаморфизма и нарушенности. Этот фактор также имеет решающее влияние на особенности механизма оползневого процесса. В платформенных условиях, где залегание пород в основном приближается к горизонтальному, доминирующее значение приобретают оползни выдавливания, связанные с горизонтально залегающими пластами глин. Однако благодаря складчатости платформенного типа, отдельным крупным разрывным нарушениям или каким-либо другим дефектам в породах, здесь могут возникать оползни всех других типов, включая и оползни скольжения. Такие оползни известны в Поволжье, на Ставропольской возвышенности и в других районах СССР. В связи с тем, что сейсмотектоническая и вулканическая активность в пределах платформ значительно слабее, чем в горно-складчатых областях, вес этих факторов в образовании оползней сравнительно невелик. Однако в отдельных возвышенных частях платформ, примыкающих к горным сооружениям, в особенности в зоне альпийской складчатости, влияние сейсмических толчков может быть весьма значительным. Например, землетрясение в декабре 1940 г. вызвало массовую активизацию оползней в Молдавской ССР.

С геоструктурными условиями теснейшим образом связаны региональные геологические факторы третьей группы, включающие основные характеристики рельефа, его возраст и генезис. Давно уже установлена прямая зависимость между энергией рельефа и активностью оползневого процесса, которая проявляется не только в горных областях, но и на платформах. Энергия рельефа может быть объективно оценена по перепаду высотных отметок и крутизне склонов. Установленные зависимости между отдельными характеристиками склонов, в частности, их высотой и крутизной [14], позволяют оценить степень устойчивости склонов и выявить закономерности развития на них оползней (рис. 2.3). Для платформенных условий, в районах с однородным геоло-

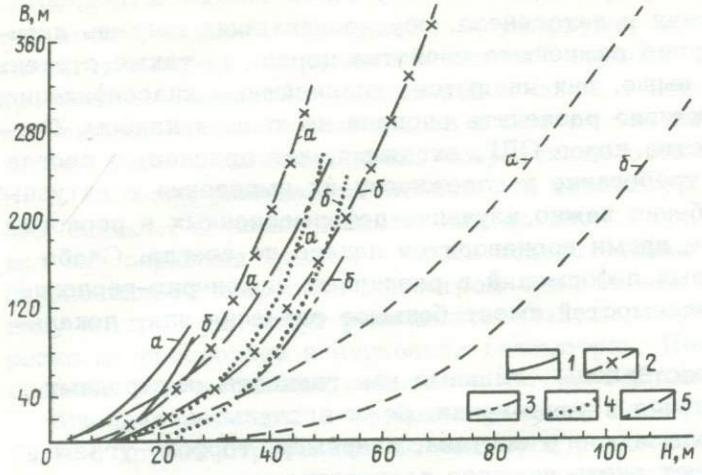


Рис. 2.3. Графики зависимости между высотой и заложением оползневых склонов: 1 – средняя (а) и предельная (б) кривые в районе Волгограда; 2 – то же в Подмосковье; 3 – то же в Киеве; 4 – то же в Одессе; 5 – то же в Горьковском Поволжье

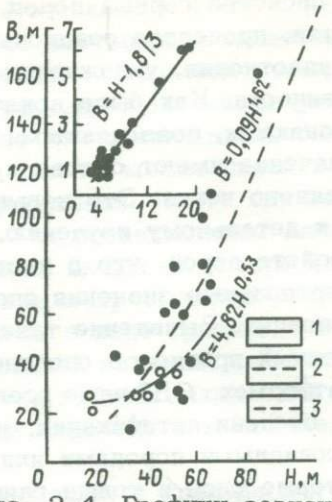


Рис. 2.4. Графики зависимости ширины оползневой ступени от высоты склона или пластичность слагающих пород (по Печеркину И.А., и Кюнтцелю В.В.) 1 – для лессовидных пород Прикамья; 2 – для глин юрского возраста Подмосковья; 3 – для пермских песчано-глинистых пород Прикамья

гическим строением, устанавливаются критические значения высот оползневых склонов. Например, для оползней выдавливания, связанных с глинами оксфордского яруса юры в Подмосковье, критическая высота склонов составляет 25 м. Однако подобные наблюдения в литературе встречаются крайне редко.

Определенные соотношения отмечаются между другими геометрическими параметрами оползневой зоны. Так, для условий Подмосковья [21] и Прикамья (СССР) [30] установлена тесная зависимость между шириной вновь отчленяющегося оползневого блока (ступени) и высотой склонов (рис. 2.4). На морских побережьях платформ оползневой процесс особенно активно идет в пределах уступов шельфов, где также важно соотношение между их отдельными геометрическими параметрами.

Гидрогеологические условия также сильно влияют на распространение и развитие оползней, хотя их не всегда относят к числу главнейших факторов. Наиболее значительно это влияние на оползни течения, выплывания, проседания и разжижения. Более сложно и не однозначно их воздействие на оползни других типов. Оценка роли гидрогеологических факторов в оползневом процессе достаточно сложна и должна производиться с учетом конкретных инженерно-геологических условий территории. Вес этих факторов может меняться от весьма существенного до практически незначительного. Более однозначно определяется воздействие на оползни платформ других быстроизменяющихся факторов. Из числа природных экзогенных геологических процессов большое влияние оказывают процессы выветривания, речная и овражная эрозия, а там, где речной сток зарегулирован, переработка берегов водохранилищ. В меньшей степени сказывается влияние суффозионно-карстовых процессов, а в криолитозоне – мерзлотных процессов.

В связи со значительным освоением, в первую очередь территорий платформ во многих районах земного шара, все возрастающую роль приобретают техногенные процессы. Помимо переформирования берегов, в результате создания водохранилищ, крупных каналов и других гидротехнических сооружений, большое влияние на активизацию оползневого процесса оказали и другие проявления техногенеза. Так, в связи с массовой вырубкой лесов в течение последних столетий заметно активизировались оползни в пределах Русской платформы в СССР, в других странах Западной Европы и т.д. Создание глубоких угольных железорудных и других карьеров, выемок шоссейных и железных дорог, отсыпных отвалов и т.д., а также крупных городских агломераций зачастую приводит к

активизации оползней. Лишь целенаправленная инженерная защита может предотвратить или существенно снизить ущерб, причиняемый оползнями.

Определенную роль в формировании оползней на платформах играют зональные геологические, а также климатические факторы. Они определяют характер тепло-массо-энергообмена горных пород, а тем самым и их состояние, в особенности в приповерхностной зоне, режим поверхностных и подземных вод, интенсивность и характер процессов выветривания, литогенеза, интенсивность проявления многих геологических процессов.

На развитии оползней сказываются условия гумидного, а в особенности тропического климата, где годовая норма атмосферных осадков превышает 1000 мм. Повышение общей увлажненности пород и сопровождаемое этим снижение их прочности оказывают существенное влияние на ход развития оползневого процесса. Установлена связь между интенсивностью оползания и колебаниями атмосферного давления, а также с некоторыми другими гидрометеофакторами. При этом особое значение имеет отклонение исследуемых характеристик от их средних значений. Активизация оползней зависит не только от количества и интенсивности выпадающих осадков, но и от условий их инфильтрации, испарения и стока. Не менее важным является общая устойчивость склонов оползневого района. Как показала Е.П. Емельянова [14, 15], значительная активизация оползней в отдельных районах возможна в тех случаях, когда возникает несоответствие между значениями коэффициента устойчивости склонов и степенью их водонасыщения. Уменьшение устойчивости склонов под влиянием ряда внешних и внутренних факторов приводит к периодической активизации оползней, толчком которой часто является аномально высокое количество выпадающих атмосферных осадков. После периода массовой активизации оползней коэффициенты устойчивости большинства склонов вновь несколько возрастают, в связи с чем выпадение того же или даже большого количества атмосферных осадков будет вызывать слабый эффект. Новая заметная активизация оползней в том же районе будет возможна лишь через некоторое время, когда снова произойдет общее снижение устойчивости территории.

Особенно значительный эффект воздействия на оползни атмосферных осадков отмечается при большом превышении их средней нормы. Например, в районе Сянгам, Гонконг, 11-12 июля 1966 г. за 24 часа выпало 401 мм осадков, что вызвало возникновение или активизацию около 700 оползней [61]. Подобные примеры многочисленны, однако количественные зависимости между величиной и скоростью оползания и выпадения атмосферных осадков в настоящее время установлены только для отдельных районов и в первую очередь применимы только для оползней течения. Меньшее влияние на оползни оказывают, по-видимому, изменения температуры воздуха и слагающих склоны пород. Однако эти факторы, несомненно, влияют на скорость процесса выветривания. Еще более важен их учет в криолитозоне, где процесс оползания обычно замедлен и в основном развивается в области периодически оттаивающих пород. Еще значительнее влияние температурного фактора в многовековом аспекте, когда существенно изменяются границы отдельных климатических зон и основные параметры мерзлотных условий. Особое значение приобретает и влияние техногенеза, которое ощущается во всех природных зонах и нередко приводит к аномальной и азональной активизации оползней.

Особенности развития оползней в горно-складчатых областях

Оползни в горно-складчатых районах существенно отличаются от оползней в платформенных условиях. Это отличие обусловлено в первую очередь существенной разницей в геоструктурных и геодинамических условиях, предопределяющих интенсивное развитие многих, в особенности собственно гравитационных, геологических процессов. В горноскладчатых областях преобладают скальные и полускальные горные породы, часто высокой степени метаморфизма, нарушенные системами трещин различного, преимущественно тектонического происхождения, а также отдельными мощными разломами земной коры. Типичной особенностью горно-складчатых областей является наличие покровных образований, которые на многих участках перекрывают коренные породы и имеют весьма низкую устойчивость. Характерна также высокая сейсмотектоническая и вулканическая активность, высокая энергия рельефа, с относительными перепадами, иногда до 5-8 км, резко выраженная вертикальная климатическая зональность.

Эти и другие факторы предопределяют высокую активность оползневого процесса во многих районах горно-складчатой области. Пораженность этих районов оползнями нередко превышает 30-50%, а иногда достигает 80-90%, в то время как в платформенных условиях она обычно составляет доли процента, реже несколько процентов и только в исключительных случаях, например, в районе Кодр (Молдавская ССР), на отдельных участках оползневая пораженность превышает 80%. Размеры оползней в горно-складчатых областях так же бывают значительно больше, чем на платформах. Известны оползни-гиганты, объемом в 2,2 миллиарда $м^3$ и более. Примером может служить Усойский оползень на Памире (СССР), который отнюдь не является самым крупным среди представителей подобного типа. Однако оползни таких масштабов случаются сравнительно редко. Гораздо интенсивней идет оползневой процесс в слагающих склоны покровных образованиях, особенно при интенсивном хозяйственном освоении этих территорий. Так же интенсивно идут процессы на морских и океанических горных побережьях, например, на Черноморском побережье, берегах Тихого океана и т.д. По механизму развития в скальных и полускальных породах преобладают оползни сколожения, а в покровных глинистых и крупнообломочных образованиях - оползни течения. Другие типы оползней в горно-складчатых областях встречаются гораздо реже. Однако в горных и особенно предгорных зонах, в тех районах, где широкое распространение получают лёссовые породы, весьма активны оползни проседания. Реже возникают условия для развития других типов оползней. Таким образом, на оползни в горно-складчатых областях влияют те же региональные и зональные геологические факторы, что и на платформах, однако результаты этого влияния могут быть существенно иными.

Благодаря интенсивным процессам выветривания многие скальные, в том числе изверженные, породы в обнажениях сильно разрушаются. Образуется мощная кора выветривания, в которой развиваются оползни. Такие условия характерны для многих горных районов, особенно с мягким субтропическим и тропическим климатом, где отмечается массовое проявление оползней. В качестве примера можно указать на условия Черноморского побережья Кавказа в Западной Грузии, где породы даже гранитного состава сильно подвержены процессам оползания. Подобные условия отмечаются в ряде районов Японии, в Гималаях и многих других горных районах мира.

Гораздо большее значение, чем для платформ, имеют структурные и сейсмотектонические условия горно-складчатых областей. Известна приуроченность оползней к зонам больших разломов и их оперений. Например, с крупным разломом Сен-Андреас связаны катастрофические оползни в Калифорнии (США). Благоприятные для развития оползней условия создаются на тех участках, где породы имеют моноклинальное залегание в сторону горных долин или ущелий. Здесь образуются консеквентные оползни, смещающиеся по контактам пород и нередко переходящие в обвалы. Высокая сейсмическая активность в горных областях зоны альпийской складчатости и в тихоокеанском складчатом поясе более способствуют интенсивности развития оползней в этих районах. Многие из крупнейших оползней имеют сейсмогенное или сейсмогравитационное происхождение. Нередко границы между оползнями и тектоническими дислокациями в горно-складчатых областях весьма условны. По аналогии с ними можно предполагать высокую оползневую активность и на склонах срединно-океанических хребтов, где отмечаются максимальные на нашей планете перепады высот подводного рельефа и высокая сейсмотектоническая активность.

Благодаря высокой энергии горного рельефа весьма активно протекают многие гравитационные процессы и на суше. Однако оползни наиболее часто возникают при определенных интервалах высот и при определенной крутизне склонов. При наиболее высокой крутизне склонов оползни сменяются обвалами, камнепадами и другими склоновыми процессами. Предельные значения крутизны склонов определяются составом, состоянием пород и рядом других геологических факторов, поэтому данные параметры имеют главным образом региональные ограничения. Часты случаи, когда в высокогорных частях горно-складчатых областей пораженность территории оползнями резко снижается по сравнению с другими частями склонов, как это имеет, например, место в осевой зоне Большого Кавказа. Несколько иные зависимости существуют для склонов, покрытых чехлом рыхлых пород. Здесь также наблюдается зависимость, при прочих равных условиях, от крутизны склонов и мощности покровных образований. Не менее важен состав

покровных отложений, характер их раздела с коренными породами, степень увлажненности и т.д. Отсутствие, как правило, выдержанных водоносных горизонтов определяет характер влияния подземных вод на оползни. Особое значение приобретают трещинные, иногда трещинно-карстовые или трещинно-жильные воды, вызывающие изменение гидростатического и гидродинамического давления. Сложные гидрогеологические условия часто затрудняют их объективную оценку в оползневом процессе. Большое влияние на скорость оползания оказывает изменение свойств пород в зоне смещения под влиянием их увлажнения. Это приводит нередко к тому, что оползневые деформации достигают критических значений.

Помимо эндогенных факторов, немалое влияние на развитие оползневого процесса оказывает глубинная и отчасти боковая эрозия, абразия на морских побережьях и больших озерах, уже упомянутые выше интенсивные процессы выветривания. Достаточно хорошо установлена связь активизации оползней с сильными землетрясениями. Примерами могут служить крупные катастрофы в 1960 г. в Чили, в 1962 и 1970 гг. в Перуанских Андах, в 1964 г. на п-ве Аляска и т.д. Аномально высокое выпадение атмосферных осадков вызывает еще большую активизацию оползней, чем в платформенных условиях. Так 7-8 июля 1974 г. на о. Хонсю, в префектуре Сидзуока (Япония) выпало 410 мм осадков, при интенсивности их выпадения 50-60 мм/час, что вызвало очень значительную активизацию оползней в данном районе. Близкий эффект достигается и при постепенном, но аномально длительном выпадении осадков, когда общая увлажненность склонов существенно повышается. Это особенно опасно в сочетании с землетрясениями даже сравнительно небольшой силы.

Постепенное, но все возрастающее освоение человеком горных склонов и долин, вызывает прогрессирующее увеличение оползневой активности. Особенно заметно это влияние сказывается в результате прокладок горных дорог, проведения горнодобывающих работ, часто связанных со взрывами, строительстве поселков и промышленных сооружений и других инженерно-хозяйственных мероприятий. В этих случаях оползни нередко возникают даже тогда, когда в естественных условиях они не проявляются. Еще более легко выводятся оползни из состояния временной стабилизации, что нередко имеет катастрофические последствия. В то же время и борьба с оползнями в горно-складчатых условиях значительно сложнее и дороже, чем на платформах, а используемые противооползневые мероприятия не всегда оказываются эффективными. В связи с этим изучение механизма и динамики оползней в горных странах приобретает особое значение и требует больших усилий исследователей различного профиля.

4. Развитие оползневого процесса во времени

Важнейшей особенностью оползневого процесса является его повторяемость во времени. Природа этого процесса отмечалась Г.М. Шахунянцем [41], который указывал, что нестабилизированные объекты (в том числе и оползни) развиваются циклически. Каждый цикл разделяется на несколько последовательных этапов, которые большинством исследователей именуются стадиями. Периоды циклов развития одного и того же объекта могут иметь разную длительность в зависимости от интенсивности изменения соотношений между силовыми факторами сопротивления и разрушения. Позже Г.М. Шахунянц [42] развил эти положения и дал анализ влияния различных природных и техногенных факторов на повторяемость оползневого процесса и колебания коэффициента устойчивости склонов. Как указывает Е.П. Емельянова [9], повторяемость оползневого процесса может быть двух видов. Она может проявляться на одном и том же участке склона. Этот первый вид повторяемости мы будем называть цикличностью 1-го вида, а отрезок времени, в течение которого процесс проходит все основные стадии своего развития - полным оползневым циклом 1-го вида. Под вторым видом повторяемости-цикличностью 2-го вида или ритмичностью оползневого процесса понимается закономерная повторяемость массовой активизации оползней в пределах изучаемой территории (участка, района, региона, континента, полушария, или всего земного шара в целом) под воздействием определенной совокупности природных или техногенных факторов. Отсюда вытекает понятие о цикле (ритме) как отрезке времени между двумя закономерно повторяющимися экстремальными значениями активизации оползневого про-

5386

цесса. Этот вид повторяемости особенно важен при широких региональных исследованиях и прогнозах. При его изучении следует учитывать, что кривая повторяемости не является синусоидальной. Продолжительность отдельных циклов и их амплитуды могут существенно меняться во времени. Поэтому более правильно говорить, что развитие оползневого процесса носит пульсирующий (квазициклический) характер.

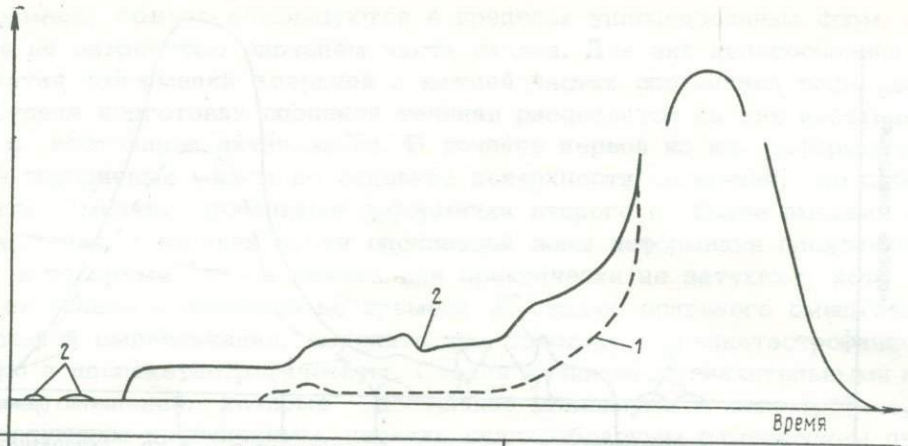
Цикличность 1-го вида изучена достаточно детально. Анализируя ход развития оползневого процесса во времени, многие исследователи разделяли его на ряд последовательных стадий. Ф.Ф. Голынец [1] разделил оползневой процесс на следующие стадии: 1) формирование конфигурации косогора денудационными процессами; 2) гидромеханическая подготовка в зоне поверхности скольжения (выщелачивание, перегруппировка частиц, разбухание и т.д.); 3) образование оползневой отдельности; 4) оползневая подвижка; 5) реакция на поверхности скольжения - оползневое последствие; 6) равновесие. Подобная многостадийная схема в настоящее время сильно устарела, однако в ней в той или иной форме отражены основные стадии оползневого процесса. В последующем различные исследователи выделяли разное число стадий и более дробных подразделений оползневого цикла. Так, Ф.П. Саваренский [33] рассматривал три главных стадии: 1) подготовительную; 2) само оползневое смещение; 3) последующую стадию в жизни склона и смещенных оползневых масс. Дальнейшее развитие вопрос стадийности получил в работах Н.Я. Денисова [5], В.Н. Славянова [35], Г.И. Тер-Степаняна [36] и других исследователей. Во многих из этих схем подразумевалось, что оползневые смещения происходят лишь в одну из выделенных стадий, в другие же только идет подготовка к оползанию, либо происходит его затухание. Позднее стало ясно, что в ряде случаев оползневые смещения происходят непрерывно в течение всего оползневого цикла, однако скорости движения оползневых масс существенно меняются, нередко на порядок и более. Стадия, в течение которой происходят наиболее значительные деформации, обычно именуется стадией основного или главного смещения. Продолжительность ее обычно значительно меньше, чем других стадий оползневого цикла. Среди многих существующих схем развития оползневого процесса наиболее универсальной является схема Г.И. Тер-Степаняна [36], который различает следующие этапы оползневого цикла: 1) стабилизации, когда деформация со временем затухает; 2) ползучести, когда скорость деформации со временем принимает постоянное значение и 3) среза, когда происходит разрушение. Детальное разделение полного оползневого цикла произведено Е.П. Емельяновой [9,13,15]. Ею составлены типовые схемы развития оползней в почти горизонтальных слоях нормальных глин и в маломощном элювиально-делювиальном покрове. При этом Е.П. Емельянова для глубоких оползней различает разовый и многократно повторяющиеся оползневые циклы. В первом случае она выделяет четыре стадии развития оползня, во втором - число стадий сокращается до двух: стадии подготовки оползня и стадии основного смещения. Подобные типовые схемы нашли широкое применение в практике изучения хода развития оползней в СССР.

Наряду с универсальными схемами для отдельных оползневых районов составлены региональные схемы развития отдельных типов оползней. Примером могут служить схемы полного цикла оползней выдавливания (сдвига) Москвы и Подмосковья [21] и оползней того же типа в Одессе [26]. Для условий Европейской территории СССР В.В. Кюнтцелем и Г.П. Постоевым [22] были построены типовые схемы полных оползневых циклов (рис. 2.5).

Для большинства типов оползней, в особенности типа выдавливания (сдвига) следует различать ход развития оползневых деформаций как в пределах оползневого склона, так и в примыкающих к нему частях коренного массива. На рис. 2,5 показана интенсивность развития процесса в указанных двух частях оползневой зоны. Схема отражает случай непрерывного развития оползневого процесса. Каждая из выделяемых стадий по характеру деформаций в различных частях оползневой зоны и их соотношению между собой разделяются на три подстадии:

1) общей стабилизации, характеризующейся отсутствием деформаций в краевых частях плато: в пределах оползневого склона возможны отдельные дискретные локальные подвижки;

2) локальной активизации, когда в краевой части плато деформации по-прежнему не возникают, но на оползневом склоне начинают развиваться постоянные деформации, связанные с перемещением оползневых масс по поверхности 1-го порядка:



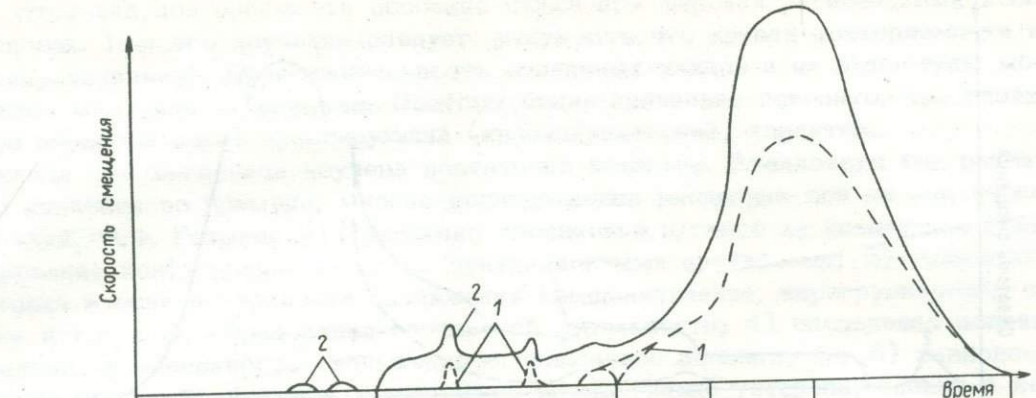
СТАДИИ	ПОДГОТОВКИ			ОСНОВНОГО СМЕЩЕНИЯ		
ФАЗЫ	ОБЩЕЙ СТАБИЛИЗАЦИИ	ЛОКАЛЬНОЙ АКТИВИЗАЦИИ	ОБЩЕЙ АКТИВИЗАЦИИ	ПРЕДКАТАСТРОФИЧЕСКАЯ / ПРОГРЕС. АКТИВ. /	КАТАСТРОФИЧЕСКАЯ	ПОСЛЕКАТАСТРОФИЧЕСКАЯ / ЗАТУХАЮЩИХ СКОРОСТЕЙ СМЕЩЕНИЯ /
Признаки-индикаторы: Кинематическая характеристика фазы	Отсутствуют деформации на краевой части (1) плато. На оползневом склоне (2) возможны отдельные локальные деформации	Отсутствуют деформации на краевой части плато (1) на оползневом склоне развиваются постоянные незатухающие деформации	Развиваются деформации на краевой части плато и на оползневом склоне. Причем скорости первых на один или несколько порядков меньше, чем вторых	Нарастание скоростей деформации краевой части плато и оползневого склона с постепенным их выравниванием до соизмеримых величин в конце фазы	Максимальные скорости смещения оползневого склона и отчленяющейся части плато как единого оползневого массива.	Постепенное снижение скоростей деформации оползневого массива. Отсутствуют или носят затухающий характер деформаций в краевой части плато
Наличие деформаций краевой части плато (отчленение блока)	–	–	+	+	+	+
Наличие смещений всего оползневого склона	–	+	+	+	+	+
Постоянное смещение вогнутого отчлененного блока	–	–	–	– / +	+	+
Постоянное ложительное ускорение смещения краевой части плато	–	–	–	+		
Соизмеримость величин смещений вогнутого отчлененного блока и сопарного оползневого склона	–	–	–	–	+	+
Постоянное отрицательное ускорение смещения оползневого склона	–	–	–	–	–	+

Рис. 2.5. Схема полного оползневого цикла оползней выдавливания и признаки распознавания отдельных подстадий (по Кюнтцелю В.В. и Постоеву Г.П.): 1 – деформации в краевой части плато; 2 – деформации на оползневом склоне.

3) общей активизации, когда синхронно развиваются деформации во всей оползневой зоне, хотя скорости движения на плато на порядок или более ниже, чем на склоне;

К концу последней подстадии скорости деформаций начинают заметно нарастать во всей зоне оползня, что указывает на переход к стадии основного смещения. Эта стадия также может быть разделена на три подстадии:

1) предкатастрофическую, или прогрессирующей активизации, в течение которой отмечается нарастание скорости деформаций во всех частях оползневой зоны с постепенным выравниванием к концу подстадии значений ускорения движения до соизмеримых величин.



СТАДИИ	ПОДГОТОВКИ		ОСНОВНОГО СМЕЩЕНИЯ		
Фазы	Общей стабилизации	Постоянной активизации	Предкатастрофическая (прогрессирующей активизации)	Катастрофическая	Послекатастрофическая (затухающих скоростей смещения)
Кинематическая характеристика фазы	Отсутствуют смещения по основной поверхности верхней (1) и нижней (2) частей склона. Возможны локальные деформации II-го и более высоких порядков	На верхней части оползневого склона деформации проявляются периодически, на нижней части они постоянны с периодическим ускорением и замедлением	Нарастание скоростей смещения верхней и нижней частей склона	Максимальные скорости смещения всего оползневого склона	Постепенное снижение скоростей смещения оползневого склона
Признаки - индикаторы: Постоянное смещение нижней части склона	–	+	+	+	+
Постоянное положительное ускорение смещения всего склона	–	–	+	+	–
Увеличение скоростей смещения до величин порядка 0,5-1 м/сутки и более	–	–	–	+	∓
Постоянное отрицательное ускорение смещения всего склона	–	–	–	–	+

Рис. 2.6. Схема полного оползневого цикла оползней течения и признаки распознавания отдельных подстадий (по Кюнтцелю В.В. и Постоеву Г.П.) : 1 – смещение в верхней части склона; 2 – смещение в нижней части склона.

С этого момента времени оползень перемещается в виде единого монолитного тела.

2) катастрофическую, относительно короткую во времени, когда скорости смещения всего оползня становятся максимальными;

3) послекатастрофическую, или затухания, в течение которой оползневые деформации постепенно снижаются. В краевой части плато движение полностью прекращается или имеет затухающий характер.

На схеме показаны основные признаки, позволяющие диагносцировать подстадии, в которых находится процесс. Использованы в основном кинематические характеристики, которых, как правило, оказывается достаточно для распознавания выделенных подстадий. Однако введение в диагностическую классификацию дополнительно некоторых геометрических и вещественных (субстационных) признаков, несомненно, может улучшить процесс распознавания и несколько детализировать предложенную схему. Помимо использования данных оползневого картирования и наблюдений за поверхностными реперами, ценная информация может быть получена путем применения глубинных реперов и наклономеров. Несколько иной характер имеет цикл оползней течения. У этого типа

оползней деформации обычно локализуются в пределах унаследованных форм, лишь иногда захватывая не затронутые оползнем части склона. Для них целесообразно рассматривать ход развития деформаций в верхней и нижней частях оползневой зоны раздельно (рис. 2.6). Стадия подготовки оползней течения разделяется на две подстадии: общей стабилизации и постоянной активизации. В течение первой из них деформаций, захватывающих все оползневые массы до основной поверхности смещения, не наблюдается. Возможны лишь мелкие локальные деформации второго и более высоких порядков. Во вторую подстадию в верхней части оползневой зоны деформации проявляются только периодически, в то время как в нижней они практически не затухают, хотя их интенсивность может сильно колебаться во времени. В стадию основного смещения можно, как и для оползней выдавливания, выделить три подстадии: предкатастрофическую, катастрофическую и послекатастрофическую. Стадия начинается значительными возрастаниями ускорений смещений, которые достигают максимума в катастрофическую подстадию с последующим постепенным, нередко скачкообразным замедлением движения. Как и в первом случае, распознавание выделенных подстадий производится с помощью кинематических признаков. Менее изучены циклы других типов оползней. Некоторые из них могут существенно отличаться от вышеописанных. Например для оползней выплывания характерна резко выраженная дискретность проявления и значительная продолжительность стадии общей стабилизации или подготовки оползня, в течение которой полностью уничтожаются ранее оползшие массы и склон приобретает форму, близкую к предыдущей предкатастрофической стадии. Начало стадии основного смещения нередко зависит от колебания гидравлического градиента подземного потока в сочетании с воздействием ряда других факторов, например, общей увлажненности склона, снятия нагрузки на его основание за счет снижения уровня водотока или водоема и т.д. Поэтому общая продолжительность циклов этих оползней во многом зависит от режима подземных и поверхностных вод. Слабо изучены циклы оползней разжижения. По данным Л. Бьеррума [46], И.Розенквиста [51] и др. исследователей, в Норвегии оползни этого типа имеют широкое распространение. Они, как правило, одноразовые. Стадия подготовки их очень длительна, что обусловлено медленным процессом выщелачивания солей из слаболитифицированных морских глин, которые при нарушении первичной структуры легко переходят в плывунное состояние. Стадия основного смещения наступает почти внезапно и протекает исключительно бурно и разрушительно. Процесс часто завершается образованием грязевого потока, который выносит значительную часть деформированных глин из оползневой депрессии.

Сведения о продолжительности некоторых разновидностей оползней, распространенных на Европейской территории СССР, приведены в табл. 2.2. Анализ ее показывает, что продолжительность полных оползневых циклов во многом зависит от прочностных и деформационных свойств пород основных деформирующихся горизонтов. Некоторые колебания значений циклов во времени обусловлены интенсивностью воздействия на оползни внешних факторов, например, интенсивностью боковой эрозии или абразии. Чем выше скорости размыва берегов, тем меньше продолжительность циклов оползания. Все это обусловливает заметную асинхронность в развитии многих классов оползней выдавливания и некоторых других их типов. В противоположность этому мелкие оползни течения, с небольшой продолжительностью циклов, часто активизируются в значительном количестве даже на сравнительно ограниченных территориях, что позволяет говорить о некоторой синхронности в их развитии. Однако отсутствие синхронности в проявлении цикличности 1-го вида у большинства типов оползней является одним из ее существенных отличий от цикличности 2-го вида (ритмичности). Многими исследователями выявлен большой ряд циклов различных природных явлений, существенно отличающихся по фазе, периоду, амплитудам и механизму развития. Менее изучена оползневая цикличность, т.е. повторяемость периодов активизации и затухания определенного числа (множества) оползней на исследуемой территории. Некоторые систематизированные сведения о цикличности 2-го вида (ритмичности) оползней на Европейской территории СССР приведены в работе В.В. Кюнтцеля [22].

Из числа многовековых циклов развития геологических процессов, в том числе и оползней, в значительной мере выделяется цикл средней продолжительностью около 1850 лет, получивший название цикла Шнитникова [45]. Анализ влияния

Таблица 2.2.

Продолжительность циклов отдельных типов оползней на территории Русской платформы

Тип оползня	Состав и возраст пород ОДГ	Средняя продолжительность цикла, лет	Диапазон колебаний продолжительности цикла, лет	Источник информации
Оползни выдавливания	Глины каменноугольной системы	200	–	Ориентировочная оценка
	Глины и аргиллиты татарского яруса, пермской системы	1500	1400–2000	Расчеты Е.П. Емельяновой
	Глины оксфордского яруса, юрской системы	300	200–500	Расчеты В.В.Кюнтцеля
	Глины меотического яруса, неогеновой системы	40	20–105	Натурные наблюдения. Расчеты Е.П. Емельяновой
	Глины куяльницкого яруса, неогеновой системы	20	15–30	Расчеты О.А. Крамаренко и Ю.П. Соколова
	Глины хвалынского яруса, четвертичной системы	3	1–10	Натурные наблюдения
Оползни течения	Делювиальные и коллювиальные отложения четвертичной системы	175	–	Расчеты И.Б. Коржевского и др.
	Ледниковые песчано-глинистые отложения четвертичной системы	3	1–10	Натурные наблюдения
Оползни выплывания	Аллювиальные отложения четвертичной системы	30	20–40	Ориентировочная оценка Г.И. Тарасовой

этого цикла на гравитационные процессы показал, что в течение голоцена оно было весьма значительным; хотя и существенно различным в разные регрессивные и трансгрессивные фазы 1850-летнего цикла. Предполагаемое изменение оползневой активности на Европейской территории СССР в голоцене показано на рис. 2.7. Наряду с 1850-летним, на оползневой процесс оказывали влияние другие многовековые циклы, в том числе цикл средней продолжительностью около 900, 600, 300 и 180 лет. Еще более заметно влияние субвековых циклов порядка 80 и 90лет. Они проявляются во многих природных явлениях, но для оползней еще слабо изучены. С небольшими перерывами ведущий вековой цикл оползневой активности для территории Европы может быть прослежен с начала текущего тысячелетия. В нынешнем столетии максимум вековой активизации оползней, по-видимому, наблюдался в начале 60-х гг., когда во многих частях северного полушария число активных оползней достигло максимальных значений. Выявление более мелких циклов, именуемых обычно внутривековыми, требует детального изучения режима оползневого процесса, как на региональном, так и локальном уровнях. В настоящее время накопленные временные ряды не

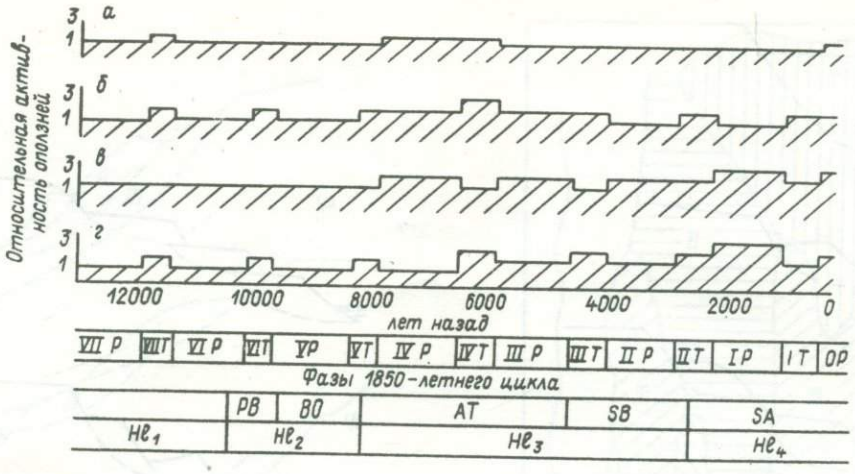


Рис. 2.7. График изменения оползневой активности в голоцене на Европейской части СССР: а – северная часть Русской платформы; б – центральная ее часть; в – Черноморское побережье СССР; г – Кавказ. р – регрессивная фаза цикла; т– трансгрессивная фаза цикла; О – VII –номера фаз: *PB* – предбореальная эпоха: *BO* – бореальная; АТ – атлантическая; В – суббореальная; А – субатлантическая:, *Hl* – голоцен.

всегда достаточно представительны и продолжительны по времени. Число их весьма ограничено. Однако уже на данном этапе исследований могут быть сделаны выводы о значительном количестве оползневых циклов, отличающихся по периодам и амплитуде. Некоторые из них могут быть отнесены к категории ведущих, т.е. наиболее устойчивых во времени и представляющих наибольшую ценность для целей прогнозирования оползней. К числу таких ведущих циклов относится цикл оползневой активности средней продолжительностью около 30 лет. Он отчетливо выражен для многих регионов СССР и в целом для северного полушария. Достаточно устойчивыми для отдельных территорий Европы и Азии являются и другие внутривековые циклы, например, средней продолжительностью порядка 9 лет, а также более мелкие циклы, включая годовой. Можно также говорить о микроциклах оползневого процесса, отражающихся в импульсном характере оползневого движения. В частности, многими исследователями в СССР зарегистрирован суточный микроцикл, очевидно, носящий всеобщий характер.

Природа циклов оползневой активности, так же как и других геологических процессов, еще недостаточно изучена. В ряде случаев можно говорить о вполне удовлетворительной корреляции с солнечной активностью и другими космическими факторами. Влияние этих факторов может проявляться через различные гелио–геофизические и космо–геофизические связи, сущность которых еще подлежит выяснению. Устойчивость некоторых ведущих циклов оползневого процесса может быть обеспечена также квазипериодическими изменениями реакции самой геологической среды на воздействие внешних факторов (В.В. Кюнтцель, 1982).

Большое влияние на развитие оползневого процесса в последние десятилетия оказывают техногенные факторы, роль которых быстро возрастает. Эти факторы могут не только ускорять, но и сдерживать развитие оползневого процесса. Они влияют главным образом на амплитуду циклов оползневой активности. Однако оползни техногенного происхождения подчиняются тем же основным закономерностям, что и природные оползни. Годы их массовой активизации, как правило, совпадают. Лишь в тех случаях, когда техногенные воздействия вызывают почти мгновенное образование оползня, можно говорить об ацикличном проявлении оползневого процесса.

5. Закономерности формирования оползневых склонов

При инженерно–геологических исследованиях обычно имеют дело не с отдельными, изолированными друг от друга оползнями, а с оползневыми склонами различного геологического строения, генезиса и возраста. По числу образовавшихся на них оползней пер-

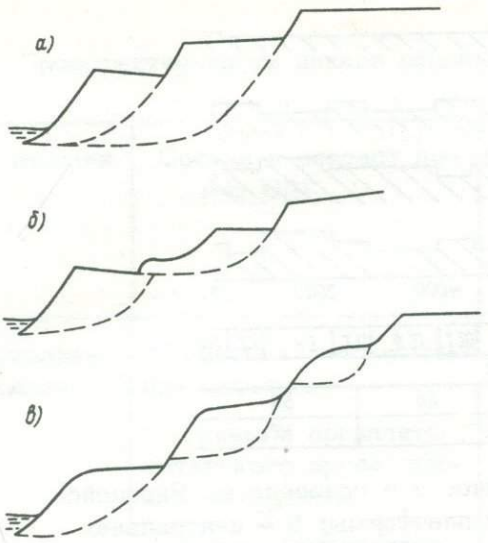


Рис. 2.8. Схема ярусности оползней: а – одноярусные; б – двухъярусные; в – многоярусные.

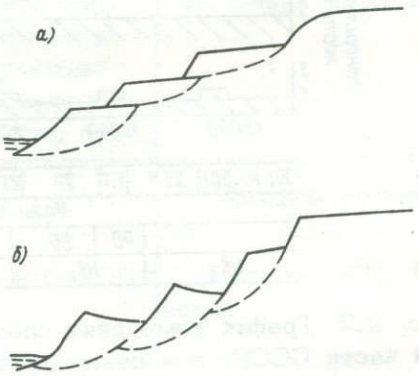


Рис. 2.9. Типы многоярусных оползней на платформах: а – перекрывающие оползни; б – наложенные оползни.

вого порядка и высотному положению базисов смещения различают: одноярусные, двухъярусные и многоярусные оползневые склоны (рис. 2.8). При этом, в связи с различием инженерно-геологических условий в платформенных и горно-складчатых областях, типы оползневых склонов существенно отличны. Наиболее простые условия характерны для склонов речных долин, морских побережий и водохранилищ на платформах, при горизонтальном залегании пород и наличии ОДГ. Здесь выделяются все указанные типы оползневых склонов, причем каждый из них по числу отчлененных от коренного плато блоков может подразделяться на одноступенчатые и многоступенчатые.

Для двух- и многоярусных оползневых склонов возможны два основных варианта их структуры (рис. 2.9). В первом случае базис каждого более верхнего яруса оползней расположен выше верхней бровки следующего яруса. Оползни верхнего яруса могут наползать на поверхность нижнего и частично перекрывать ее. Такие оползни могут быть названы перекрывающими. Во втором случае базисы смещения верхних оползневых ярусов могут располагаться несколько ниже верхней бровки более низких ярусов, но выше базисов смещения последних. В этом случае наблюдается как бы серия наложенных друг на друга оползневых блоков (по аналогии с известными типами речных террас). В некоторых случаях возможны комбинации указанных двух подтипов оползневых склонов.

Более сложной является структура оползневых склонов в горно-складчатых областях. В предгорных и низкогорных зонах, где склоны более пологие и относительно менее высокие, возможно возникновение одноярусных, двух- и многоярусных оползней, по своей структуре близких к типам оползневых склонов на платформах. Все же наиболее характерным для этих условий является наложение двух или несколько ярусов оползней друг на друга [рис. 2.10].

При этом возможны сочетания, когда:

а) оползни более верхних ярусов расположены в пределах границ нижних ярусов;

б) границы между различными ярусами сложно переплетаются;

в) границы между различными ярусами не соприкасаются.

Последний случай особенно характерен для склонов высокогорных областей, где оползни могут быть связаны с несколькими комплексами пород. Однако и в этом случае чаще всего наблюдается наползание более высоких ярусов на низкие. А.И. Шеко [44] на примере оползневых склонов Южного берега Крыма (рис. 2.11) и Черноморского побережья Кавказа (СССР) [рис. 2.12] показал сложное строение различных возрастных и генетических генераций оползней. Их морфология во многом зависит от возраста склона и развивающихся на нем эрозионных и других процессов. Для оползневых склонов Южного берега Крыма характерно более высокое гипсометрическое положение старых оползней, часто являющихся межоползневыми гребнями оползней более молодых генера-

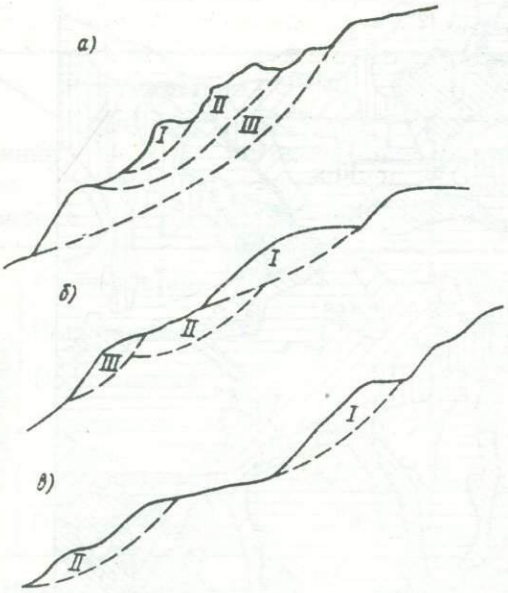


Рис. 2.10. Типы многоярусных оползней в горноскладчатых областях: а – граница верхних ярусов оползней расположена в пределах нижних; б – границы ярусов пересекаются; в – границы ярусов не совпадают; I, II, III – различные генерации оползней.

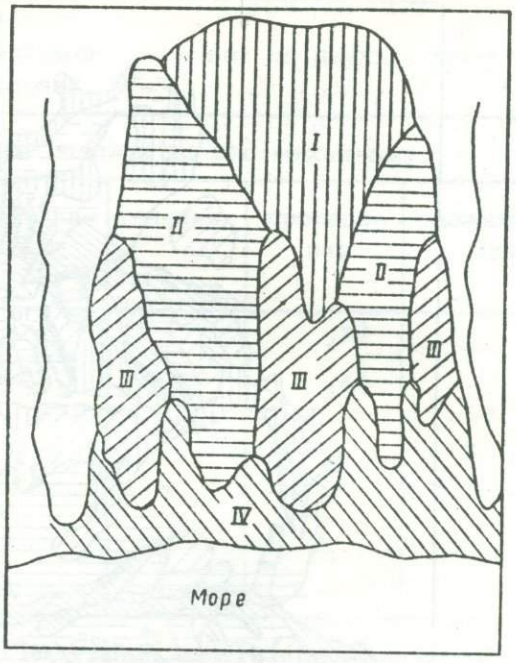


Рис. 2.11. Схема развития оползневых склонов на Южном берегу Крыма (по Шеко А.И.): I, II, III, IV – возрастные генерации оползневых склонов.

ций, имеющих форму ложбин. Такое строение оползневого склона предопределяет его гидрогеологические и гидрологические условия. Древние оползни обычно дренированы и более устойчивы, чем молодые их генерации в более увлажненных ложбинах. Это обусловливает большую активность оползневых процессов на более молодых геоморфологических уровнях, чем на древних.

Несколько иной характер имеют оползневые склоны Кавказского побережья [рис. 2.13]. Например, в Сочи-Мацестинском районе (СССР) А.И. Шеко [44] выделяет 5–6 разновозрастных генераций оползней. Каждая из них связана с определенной эпохой в развитии бассейна Черного моря. На морских склонах оползневые процессы наиболее интенсивно развивались в эпохи трансгрессий, а на склонах речных долин – в эпохи регрессий. Однако заполнение долин оползневыми накоплениями продолжалось и в периоды трансгрессии моря. Сложная картина развития оползневых склонов в одном из районов Черноморского побережья Кавказа показана на рис. 2.13. Здесь формирование на морских склонах нескольких нижних геоморфологических поверхностей было обусловлено в основном оползневым процессом, в то время как в речных долинах большую роль играли эрозионные процессы. В настоящее время оползни наиболее активны в пределах первой геоморфологической поверхности, об-

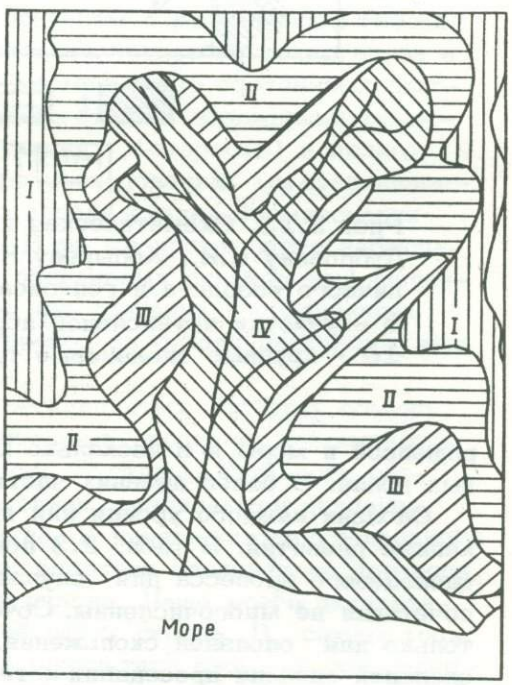


Рис. 2.12. Схема развития оползневых склонов на Кавказском побережье Черного моря (по Шеко А.И.): I, II, III, IV – возрастные генерации оползневых склонов.

5386

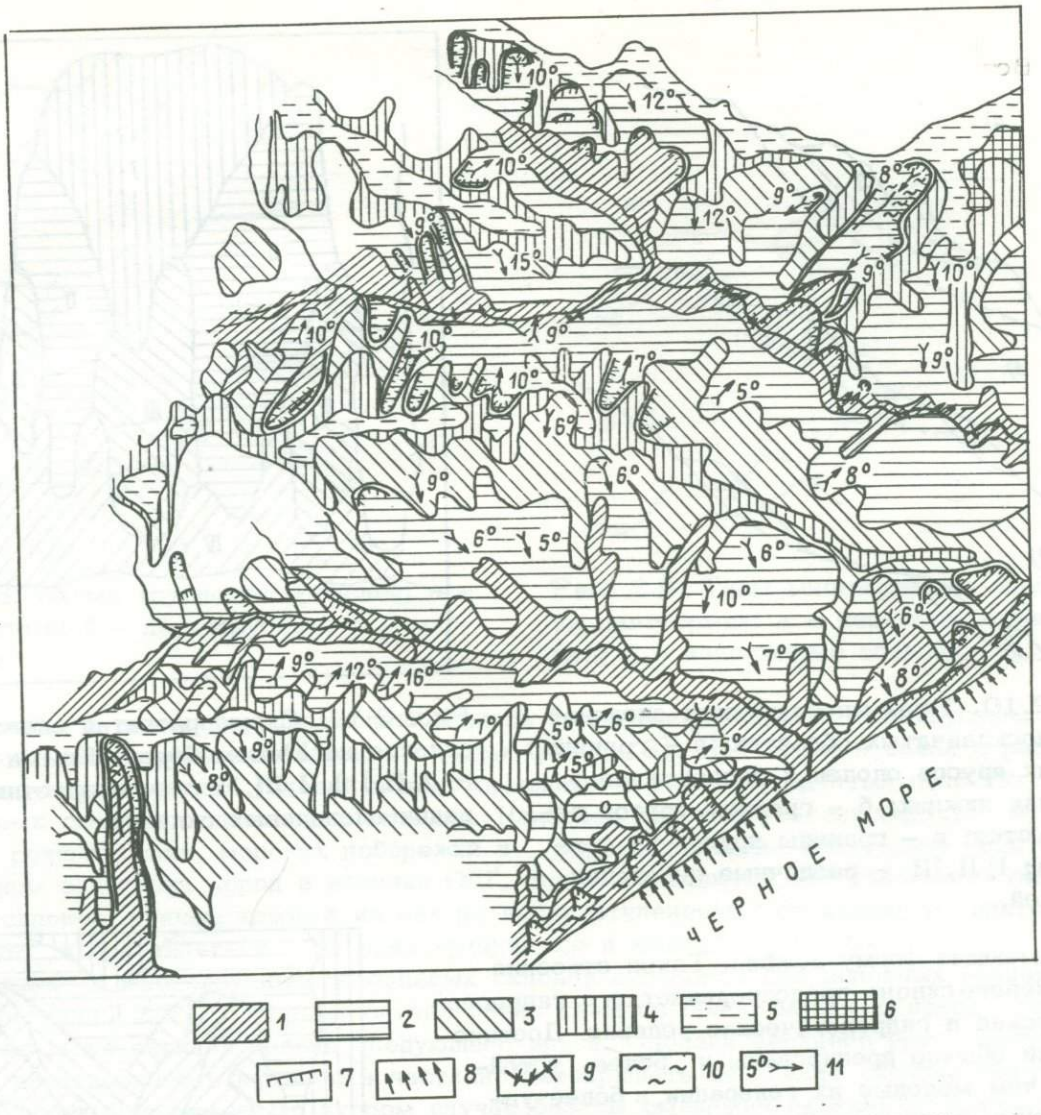


Рис. 2.13. Схематическая карта развития оползневых склонов (по Шеко А.И., Дубровину Н.И., Ходыреву Н.А.): 1–6 – геоморфологические поверхности различного возраста и генезиса; 7 – контуры отдельных активных оползней; 8 – участки интенсивной абразии; 9 – участки интенсивной боковой эрозии; 10 – крупные оползневые трещины; 11 – средняя крутизна склонов.

ращенной к морю, и в несколько меньшей степени на аналогичных морфоэлементах речных долин. В более древних частях склонов оползни проявляются локально.

Оползни каждого уровня или яруса могут иметь как сходный, так и различный механизм развития. В табл. 2.3 показаны возможные в природе сочетания механизмов оползневого процесса для случая двухъярусных оползней. Как видно из таблицы, эти сочетания не многочисленны. Сочетания одного и того же типа в обоих ярусах известны только для оползней скольжения, выдавливания и течения. В случае различных типов оползней оползни проседания и течения образуют лишь верхние ярусы, а оползни разжижения всегда одноярусны. Очень редко встречаются сочетания оползней скольжения и выдавливания, выплывания и выдавливания, проседания и скольжения и т.д. На одноярусных оползневых склонах также встречаются комбинации различных по типу механизма оползней. Например, оползень квартала Лаперлье (Сан-Рафаэль, Алжир), представляет собой последовательную комбинацию оползня выдавливания, скольжения и течения (рис. 2.14).

Большинство оползневых склонов сформировано в течение длительного времени, иногда измеряемого несколькими эпохами четвертичного периода или даже всем четвертичным периодом в целом. Реже известны случаи более раннего возраста оползневых

Таблица 2.3

Встречающиеся в природе сочетания механизмов оползней на двухъярусных оползневых склонах

Нижний ярус оползней / Верхний ярус оползней		Тип оползня по его механизму					
		скольжения	выдавливания	выплывания	течения	проседания	разжижения
Тип оползня по его механизму	Скольжения	+	–	–	+	+x)	–
	Выдавливания	+x)	+	+x)	+	+x)	–
	Выплывания	–	+	–	+x)	–	–
	Течения	–	–	–	+	–	–
	Проседания	–	–	–	–	–	–
	Разжижения	–	–	–	–	–	–

Примечание: знак "+" показывает реальность сочетания определенных механизмов оползней;
знак "–" отсутствие таких сочетаний в природе;
знак "x)" относительную редкость таких сочетаний

склонов. Однако такие склоны, начало формирования которых относится к плиоцену, за четвертичный период претерпели столь значительные изменения, что именовать их плиоценовыми можно лишь сугубо условно. Подавляющая часть оползневых склонов, как на платформах, так и в горно-складчатых областях, в основном образовалась в течение голоцена. На многие из них наложила отпечаток активизация процессов техногенеза в последние тысячелетия. Подобно отдельным оползням, формирование оползневых склонов протекает по-разному. При этом могут быть выделены стадии: зарождения (юности), активного развития (молодость и зрелость), затухания (старость) и полной стабилизации (дряхлости). В большинстве случаев при исследованиях мы сталкиваемся с последними тремя стадиями в связи с тем, что первая стадия формирования склонов пройдена еще многие тысячелетия тому назад. В то же время часто наблюдается искусственное оживление процесса формирования оползневых склонов под влиянием разносторонней деятельности человека, например, при создании водохранилищ, строительстве дорог и т.д. В этом случае возможен переход из стадии затухания или даже полной стабилизации к стадии активного развития.

Интенсивность развития оползневых склонов в горно-складчатых областях обычно выше чем на платформах, но во многом зависит от механизма оползней, совокупности воздействующих факторов и интенсивности их воздействия. В стадию активного развития оползневые склоны, так же, как и отдельные оползни, развиваются циклично, т.е. проходят основные этапы полного оползневого цикла. В начале каждого очередного цикла, как и в стадию зарождения оползневого склона, развитие оползневого процесса протекает с разной интенсивностью в различных частях склона. Чаще всего активизация оползневого процесса вначале наблюдается в нижней части склона. В случае многоярусных оползневых склонов, в активное движение в результате размыва основания склона, его подрезки или иного воздействия, первоначально включается нижний ярус оползней, постепенно вовлекая в движение вышележащие ярусы. При этом в движение не обязательно должен прийти весь оползневой склон. Оползневые деформации могут локализоваться только в некоторых его частях, как было указано выше на конкретных примерах. Иногда формирование оползневого склона начинается сверху, постепенно распространяясь во все стороны, в том числе и вниз по склону. Это может быть связано с искусственными причинами или активизацией под влиянием тех или иных природных факторов верхних ярусов оползней.

5386

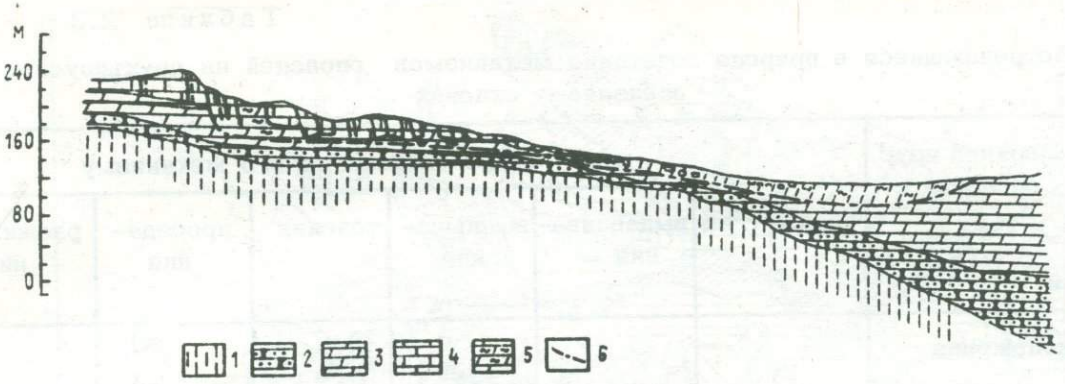


Рис. 2.14. Геологический разрез оползня квартала Лаперлье (Сант-Рафаэль), Алжир: 1 – гранито-гнейсы, 2 – песчаники, 3 – мергели, 4 – известняки, 5 – деформированные оползнем породы, 6 – поверхность смещения

Определение возраста оползневых склонов и отдельных оползней на них имеет большое значение при оценке устойчивости склонов, которая в ряде случаев может существенно дополнять и контролировать применяемые для этой цели расчетные методы. Примеры использования для этой цели историко-геологического метода прогнозной оценки оползней даны в работах А.И. Шеко [43, 44], А.Б. Островского [28] и ряда других исследователей.

Изучение закономерностей формирования оползневых склонов является надежной основой прогнозирования оползней и разработки оптимального комплекса мероприятий по борьбе с ними.

Литература

1. Голынец Ф.Ф. К изучению оползневых процессов и борьбе с ними. "Геол. сб. Нижне-Волжск. об-ва краеведения". Саратов, 1930. с. 16-18

2. Гольдштейн М.Н., Туровская А.Я., Лапидус Л.С. Исследование оползней течения "Вопросы геотехники, "Днепропетровск: 1962, сб. 5. с. 3-23

3. Гулакян К.А. О механизме глубоких оползней выдавливания. Труды ВНИИ геологии и инженерн. геологии, 1968, вып. 8, с. 33-41

4. Гулакян К.А., Кюнтцель В.В. О распознавании типов оползневых процессов. Доклады сов. учен. к Межд. конгрессу МАИГ, М.: ВИНИТИ, 1970, с. 190-200.

5. Денисов Н.А. О стадийности деформаций глинистых пород. ДАНСССР, 1947, т. 56, № 1, с. 71-74

6. Денисов Н.Я. Строительные свойства глинистых пород и их использование в гидротехническом строительстве. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956, 288 с.

7. Денисов Н.Я. О природе оползней выдавливания и мерах борьбы с ними. Научн. доклады высш. школы. Строительство, М.: 1958, № 4, с. 61-64.

8. Дранников А.М. Оползни, типы, причины образования, меры борьбы. Киев: Укргидросельстрой. 1956, с. 15-23

9. Емельянова Е.П. О периодичности оползневых процессов. "Разведка и охрана недр". 1959, № 6. с. 41-46

10. Емельянова Е.П. К вопросу о механизме и причинах оползней у г. Одессы. Труды Одесского ун-та, сер. геол. и геогр., 1960, т. 150, вып. 7. с. 25-41

11. Емельянова Е.П. Морфологическая классификация оползневых явлений для целей инженерно-геологического картирования. Труды ВНИИ гидрогеологии и инженерн. геологии. 1963, нов. сер., № 1, с. 82-99

12. Емельянова Е.П. О суффозионных оползнях. Труды ВНИИ гидрогеологии и инженерн. геологии, 1968, вып. 8. с. 4-20

13. Емельянова Е.П. О режиме устойчивости склонов и особенностях стадии развития оползней разных типов. Труды ВНИИ гидрогеологии и инженерн. геологии, 1970, вып. 29, с. 4-37

14. Емельянова Е.П. Сравнительный метод оценки устойчивости склонов и прогноза оползней. М.: Недра, 1971, 104 с.

15. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. М.: Недра, 1972, 308 с.

16. Золотарев Г.С. Генетические типы оползней, их развитие и изучение. "Материалы совещания по изучен. оползней и мер борьбы с ними", Киев, Изд-во Киевск. ун-та, 1964, с. 165-170

17. Золотарев Г.С. Основы методики инженерно-геологического изучения обвальных и оползневых склонов. "Вопросы инженерн. геологии". Доклады сов. учен. к Междунар. конгрессу МАИГ. М.: ВИНИТИ, 1970, с. 141-160

18. Корженевский И.Б. К вопросу о классификации оползневых явлений Южного берега Крыма. Труды Одесского ун-та, 1960, т. 150, вып. 7, с. 143-151

19. Кюнтцель В.В. Некоторые особенности оползней выдавливания, развитых на территории Москвы и ее окрестностей. "Сборник статей по геологии и гидрогеологии". М.: Госгеолтехиздат, 1962, вып. 2, с. 76-83

20. Кюнтцель В.В. О стадийном развитии глубоких оползней Москвы и Подмосковья. "Учен. записки Пермск. ун-та", 1964, т. 119, вып. 2. с. 258-268

21. Кюнтцель В.В. О ступенях оползней фронтального типа. "Разведка и охрана недр". 1966, № 4, с. 52-55

22. Кюнтцель В.В. Закономерности оползневого процесса на Европейской территории СССР. М.: Недра, 1980, 213 с.

23. Кюнтцель В.В. Причины ритмичности гравитационных процессов. "Инженерная геология", 1982, № 1, с. 69-72

24. Маслов Н.Н. Условия устойчивости склонов и откосов в гидроэнергетическом строительстве. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955, 465 с.

25. Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. М.: Высшая школа, 1968, 629 с.

26. Науменко П.Н. Закономерности развития и механизм катастрофических оползневых смещений на Одесском побережье. Труды ВНИИ гидрогеологии и инженерн. геологии, 1968, вып. 8, с. 50-55

27. Ниязов Р.А. Оползни в лёссовых породах юго-восточной части Средней Азии. Ташкент: ФАН, 1974, 148 с.

28. Островский А.Б. Палеогеографические основы прогноза инженерно-геологических условий. "Проблемы инж. геол. в связи с рац. использованием геологич. среды." Сборник тем УП и ШУ. Л.: 1976. с. 28-30

29. Павлов А.П. Оползни Симбирского и Саратовского Поволжья. "Материалы к познанию геологич. строения", МОИП, М.: 1903, вып. 2, с. 5-41

30. Печеркин И.А. Геодинамика побережий Камских водохранилищ. Пермь: Изд-во Пермск, ун-та, ч. 2, с. 159-206

31. Попов И.В. Инженерная геология. М.: Изд-во МГУ, 1959, 510 с.

32. Рзаева М.К. Об инженерно-геологических типах оползней. "Инженерн. изыскания для стр - ва, " М.: 1969, сер. Я.2, № 1, с. 79-86

33. Саваренский Ф.П. Опыт построения классификации оползней. Труды I Всесоюзн. оползн. совещания. Л.-М.: ОНТИ, 1935, с. 29-37

34. Сергеев Е.М. Воздействие человека на литосферу, понятие "геологическая среда". "Инж.-геол. аспекты рац. использования и охраны геол. среды". М.: Наука, 1981, с. 11-36.

35. Славянов В.Н. Некоторые вопросы стадийности развития оползневых явлений. ДАН СССР, 1951, т. 79, № 1, с. 121-124

36. Тер-Степанян Г.И. О длительной устойчивости склонов. Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1961, 54 с.

37. Федоренко В.С., Деникаев Ш.Ш., Лим В.В. Основные инженерно-геологические аспекты проблемы Сарезского озера. "Инженерная геология", 1981, № 3, с. 70-86

38. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. Л.-М.: Недра, 1965, Изд. 2-е, 378 с.

39. Царева А.М., Коренева С.Л. Применение петрографического метода выявления ослабленных зон оползневого массива. Труды ВНИИ гидрогеологии и инж. геологии, М.: 1970, вып. 31, с. 89-90

40. Шадунц К.Ш. Механизм оползней -потоков в глинистых породах. "Изв. вузов", сер. геология и разведка, 1976, № 2, с. 154-155

41. Шахунянц Г.М. О методике проектирования мероприятий по стабилизации земляного полотна. "Техника железных дорог", 1944, № 12, с. 3–7
42. Шахунянц Г.М. Принципы проектирования мероприятий по стабилизации земляного полотна. "Борьба с оползнями, обвалами и размывами на железн. дорогах Кавказа." М., Трансжелдориздат 1961, с. 5–14.
43. Шеко А.И. О необходимости учета возраста оползней при определении их устойчивости. Труды МГРИ, М.: 1959, т. 35, с. 72.
44. Шеко А.И., Лехатинов А.М., Дьяконова В.И. и др. Современные геологические процессы на Черноморском побережье СССР. М.: Недра, 1976, 184 с.
45. Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. Л.: Наука, 1969. 337 с.
46. Bjerrum L. Stability of natural slopes in quick clay. Geotechnique, 1955, vol. 5, №1, p. 101–109
47. Bjerrum L., Kjernsli B. Analysis of the stability of some Norwegium natural clay slopes. Norw. Geotechn. Inst. 24, Oslo, 1957, p.1–16
48. Landslides. Analysis and Control. Special Report 176, eds. R.L.Schuster, R.J.Krizek, National Academy of Sciences, Washington, D C, 1978, 233 p.
49. Landslides and engineering practice, edited by E.B.Eckel, Washington, DC, 1958, 232 p.
50. Meyerhof J.J. The mechanism of flow slide in cohesive soils. Geotechnique, 1957, 7, I, p. 41–49
51. Rosenqwist J.T. Marine clays and quick clay slides in south and central Norwey. Inter. Geol. Cong. 21–st. Oslo, Norwey, 1960, p.13–15
52. Sharp C.F.S. Landslides and related phenomena. A study of mass–movements of soil and rock. Pageant Books, New Jersey, 1938, 137 p.
53. Skempton A.W. Long–term Stability of Clay Slopes. Geotechnique, 1964, №2, p.77–101
54. Terzagi K. Ingenieur geologie. Wien und Berlin, 1929
55. Terzagi K., Peck R.B. Soil Mechanics in engineering practice. N.–Y., 1948, 566 p.
56. Zaruba Q., Mencl V. Engineering geology. New York and Academia Prague, 1969, 205 p.
57. Kioo Modi. Global variation of seismic activity. Tecthonophysics, 1979, 57, №2–4, p.43–50
58. Papazachos B.C., Cominakis P.E., Long–term earthquakes prediction in the hellenic trench–arc system. Tectonophysics, 1982, 86, №1–3, p.3–16
59. Robinson Russel. Variation of energy release, occurrence and b–value earthquakes in the Main Seismic Region New Zealand. "Phys. Earth and Planet. Intern.", 1979, 18, №3, p.209–220
60. Sieh Kerry E. Prehistoric large earthquakes produced by slyp on the San Andreas fault at Pallet Crack, California. "J.Geoph.Ress.", 1978, B83, №8, p.3907–3939
61. So Chak Lam. Mass movements associated with the rainstorm of June 1966 in Hong Kong. 21 Intern. Geogr. Congr., 1968, Calcutta, 1968, p.21

Глава 3

СЕЛИ

Сели – это внезапные горные потоки, обильно насыщенные твердым материалом, возникающие во время дождей, при интенсивном таянии снега и льда, а также при прорыве запруд и плотин в долинах, где имеются большие запасы рыхлообломочного материала. Для селей характерно пульсирующее (в виде валов) движение.

Сели – один из генетических типов экзогенных геологических процессов, который занимает промежуточное положение между обычным паводком с небольшим содержанием взвешенных и влекомых наносов, с одной стороны, и оползнями–потоками, с другой [21].

Сели – это гетерогенная система, состоящая из двух основных компонентов: твердого, весьма неоднородного по гранулометрическому составу и жидкого (воды). В селевом потоке в зависимости от степени турбулентности содержится различное количество воздуха. При сильной турбулентности содержание воздуха в селевом потоке мо-

жет быть очень большим. Воздух в селевом потоке в значительной степени определяет его динамические и кинематические особенности.

1. Классификация селей и очагов их зарождения

В настоящее время существует очень много классификаций селей и очагов их зарождения. Разработкой классификаций селей занимались исследователи разных стран А. Сюррель [25], У.М. Фрех [23], К.И. Богданович [1], Н.С. Дюрнбаум [5], М.А. Великанов [3], С.Г. Рустамов [13], М.С. Гагошидзе [4], М.В. Цовян [20], Ю.Б. Виноградов [15], А.И. Шеко [21], А.В. Садов [14], Д.Тони [24], Ж.С. Биазер, К.Адилис, П.Десваре [22] и многие другие.

В основу классификаций положены различные признаки селевого процесса или факторов, его обусловливающих: а) орографические и морфологические особенности бассейна; б) особенности геологического строения бассейнов; в) гидрография и гидрологий водотоков; г) генезис очагов зарождения селей; д) источники водного питания; е) интенсивность проявления экзогенных геологических процессов в бассейне; ж) повторяемость селей; з) гранулометрический состав твердой составляющей селевых потоков; и) состояние воды в селевом потоке; к) характер движения селевого потока и другие. Большое количество классификаций и многообразие признаков, по которым они построены, свидетельствуют о большой сложности селевого процесса. Многие классификации в настоящее время потеряли свое значение и могут рассматриваться только как исторический путь развития представлений о селевом процессе.

Селевой бассейн и его составные части

Селевыми или селеносными называются бассейны водотоков (ручьев, речек), в которых формируются селевые потоки. В селевом бассейне различают три основные зоны: а) формирования, б) транзита и в) затухания (конусы выноса) селевых потоков.

Зоны формирования – это часть бассейна, где расположены основные очаги зарождения селей. Эта зона, как правило (но не всегда), занимает верхнюю часть бассейна.

Под транзитной зоной понимается часть бассейна, где происходит движение уже сформировавшегося селевого потока, без существенных изменений в его составе и режиме. Однако в этой зоне на отдельных участках может происходить некоторая трансформация селевого потока за счет поступления воды со склонов и из притоков, а также за счет рыхлообломочного материала, образующегося при размыве русла и склонов долины. Если селевой поток в ходе движения претерпевает существенные изменения в своем составе или режиме движения, то следует выделять участки вторичного переформирования. Среди них могут быть выделены участки затухания, подпитывания рыхлообломочным материалом, разубоживания за счет поступления, большого количества воды из притоков и другие.

Зона затухания и разгрузки обычно представлена в виде конусов выноса. Основная разгрузка селевых потоков происходит при выходе их из ущелий в предгорья или долину крупной реки. В селевом бассейне могут быть выражены не все зоны. Часто может отсутствовать зона транзита, и тогда зона формирования сразу переходит в зону разгрузки. Такие случаи обычно наблюдаются в мелких селевых бассейнах. В том случае, если селевой поток разгружается непосредственно в русло крупной реки, отсутствует зона затухания.

Классификация селевых бассейнов

Классификации селевых бассейнов основаны на особенностях геоморфологических и геологических условий, а также гидрографических и гидрологических особенностях водотоков. Это значит, что при разработке подобных классификаций должны учитываться тектоника и литологические особенности пород.

Классификация по геоморфологическим особенностям бассейна

Известно, что в горах наблюдается высотная физико-географическая зональность. Характер формирования селей в различных зонах неодинаков. Впервые на это обратил внимание У.М. Фрех, который в 1898 г. предложил классификацию по высоте зарождения селей. Л.Н. Леонтьев [8], П.С. Непорожний [12] и Д.Я. Соколовский [18] для различных регионов предложили близкие по содержанию классификации. А.И. Шеко, развивая принципы вышеперечисленных классификаций, предложил выделять селевые бассейны, расположенные в областях: а) альпийской нивальной; б) высокогорной, в) среднегорной, д) низкогорной и е) предгорной [21]. При этом необходимо учитывать региональные особенности горных стран. Например, высокогорные или низкогорные области аридных стран отличаются от таковых в субтропических и тропических странах. Другие области, расположенные в разных зонах, будут иметь свои особенности.

Классификация по особенностям геологического строения

Классификации по особенностям геологического строения предложены Л.Н. Леонтьевым и П.С. Непорожним.

Л.Н. Леонтьев различает два типа бассейнов, в которых селевые потоки образуются за счет: а) смыва со склонов продуктов выветривания и б) размыва накопившихся на дне долины поверхностных отложений [8].

П.С. Непорожний по источникам рыхлого материала выделяет три типа бассейнов, в которых твердая составляющая селей формируется за счет: а) почв и продуктов выветривания, б) современных морен и в) аллювиальных и делювиальных отложений [12].

Геологическое строение селевых бассейнов является, несомненно, одним из основных факторов, определяющих генетические особенности очагов зарождения селей. Однако следует отметить, что приведенные выше классификации по этому признаку являются несовершенными. Классификации селевых очагов по особенностям геологического строения должны строиться на литолого-формационно-тектоническом принципе. Это значит, что при разработке подобных классификаций должны учитываться тектоника и литологические особенности пород.

Классификация бассейнов по их гидрографии и гидрологии водотоков

По гидрографическим особенностям Коста де Бастолика в 1874 г. предложил различать два типа селеносных водотоков: а) простые, когда имеется одно селевое русло и б) сложные, когда, кроме основного селеносного водотока имеются селеносные притоки. Классификация П.С. Непорожнего [12] по сложности гидрографической сети является более совершенной. Он предложил выделять три категории бассейнов: а) простые – с одним, обычно сухим руслом, б) сложные: кроме основного русла имеются два-три притока; в) весьма сложные, когда имеются основное русло и разветвленная сеть притоков. Первая классификация по гидрологическому признаку была предложена А. Сюррелем в 1848 г. М.М. Гришин и Н.С. Дюрнбаум [5] по гидрологическим особенностям предлагают различать: а) первичные русла; б) горные русла; в) речки; г) реки.

Классификация бассейнов по гидрографическим и гидрологическим особенностям при оценке селеопасности имеет большое значение. При разработке классификаций по этому признаку развитость гидрографической сети представляется целесообразным оценивать порядком водотока по системе Хортона. Сущность ее заключается в следующем. Элементарным (первичным) водотокам присваивается первый порядок, а основной реке – наивысший. После слияния водотоков одинакового порядка водотоку присваивается следующий, более высокий порядок. При впадении водотока более низкого порядка в водоток более высокого порядка порядок последнего не изменяется. Например, после слияния двух водотоков первого порядка образуется водоток второго порядка, а при впадении водотока первого порядка в водоток второго порядка ниже устья притока сохраняется второй порядок селевого водотока и т.д. В горных областях водотоки третьего и четвертого порядка – это очень крупные реки.

Классификация очагов зарождения селей

Классификация по генезису зарождения селей является основной среди большого ряда классификаций различных компонентов селевого процесса. Разработкой классификаций и описанием очагов зарождения селей занимались П.С. Непорожний [12], С.М. Флейшман [19], Ю.Б. Виноградов [15] и другие.

Наиболее полной является общая генетическая классификация очагов зарождения селей (табл. 3.1), разработанная А.И. Шеко с учетом всех имеющихся классификаций [21]. В этой классификации по гидрологическим особенностям формирования селей выделены следующие основные группы очагов, связанные: а) со скоплением рыхлого материала в руслах временных и малых водотоков; б) с подпруживанием рек; в) с деятельностью современных ледников; г) с деятельностью вулканов (табл. 3.1). В первую группу отнесены очаги зарождения селей, находящиеся в долинах небольших ручьев и временных водотоков. Отличительной чертой этих бассейнов является отсутствие постоянных водотоков или очень небольшие их меженные расходы, что определяет благоприятные условия для постепенного накопления рыхлообломочного материала в тальвегах или руслах водотоков. В том случае, если русла водотоков выработаны в рыхлообломочных легкоразмываемых отложениях, твердая составляющая селей формируется также за счет размыва этих отложений во время прохождения паводков с критическим расходом. Под критическим расходом понимается минимальный расход, при котором начинается формирование селевого потока.

Формирование селей в очагах первой группы всегда связано с выпадением большого количества жидких осадков или интенсивным снеготаянием. Очаги этой группы имеют широкое распространение, и к ним приурочено наибольшее число случаев образования селей. В пределах водотока, где зарождаются селевые потоки, последние, как правило, не носят катастрофического характера, но при выходе в более крупные водотоки могут вызвать их подпруживание и формирование более мощных селевых потоков.

Вторая группа объединяет две большие подгруппы селевых очагов, связанных с подпруживанием горных рек. Первая подгруппа включает в себя очаги, связанные с прорывом современных завалов на реках. Подпруживание рек может быть вызвано обвалами, оползнями и селевыми потоками из притоков и другими процессами. Объем обрушившихся горных пород в виде обвалов, оползней или селей должен быть достаточным для полного подпруживания рек. Поэтому в этой подгруппе по размерам долин рек выделяются три класса селевых очагов на реках: а) малых, б) средних и в) крупных. Водная составляющая в этой подгруппе формируется за счет воды, накопившейся за подпрудой реки, а твердая – за счет размыва запруды, аллювиальных и других отложений ниже перемычки. Селевая катастрофа может не зависеть от атмосферных осадков. Ко второй подгруппе селевых очагов отнесены древние завалы, которые явились причиной образования озер, а также искусственные подпруживания рек плотинами. Прорыв завальных озер или перелив воды через завалы и плотины вызывает катастрофические паводки и селевые потоки. Отличие второй подгруппы от первой заключается в том, что в завальных озерах баланс воды уже установился равновесным, т.е. приход воды в озеро равен расходу из него. Расход воды из озера может происходить как за счет фильтрации, так и за счет поверхностного перелива. В очагах первой подгруппы прорыв завала происходит до того времени, когда произойдет установление равновесного баланса. Формирование селей, обусловленных прорывом древних завалов и искусственных плотин, непосредственно не связано с атмосферными осадками.

Третья группа объединяет очаги, связанные с деятельностью современных ледников. Очаги этой группы обычно очень активны и часто являются причиной катастрофических селей. Формирование жидкой составляющей происходит за счет таяния ледников и прорыва поверхностных и подземных водоемов в морене. Твердая составляющая формируется как за счет современных морен, так и за счет размыва древних флювиогляциальных, аллювиально-пролювиальных и других генетических типов отложений, слагающих русло реки и борта долины. Образование гляциальных селей всегда происходит в период интенсивного таяния ледников.

Четвертая группа очагов зарождения селей прямо или косвенно связана с вулканической деятельностью. Образование селевых потоков может быть результатом выброса рыхлообломочного материала из кратеров вулканов, прорыва кратерных озер, таяния лед-

5386

Общая генетическая классификация

Группы и подгруппы	Классы	Типы		Минимальный объем твердого материала, одновременно поступающего в водоток и вызывающего сель
1	2	3		4
I. Очаги, связанные со скоплением рыхлого материала в руслах временных и малых водотоков	1. Скопление рыхлого материала в водотоках с крутыми тальвегами (более 15°) 2. Скопление рыхлого материала в водотоках с пологими тальвегами (менее 15°)	Характер поступления твердого материала	Оползневой Обвальный Осыпной Лавинный Эрозионный Селевой Солифлюкционный Курумный	Объем одновременного поступления материала не имеет значения
II. Очаги, связанные с подпруживанием рек	Возможные подпруживания 1. Запруды на малых реках 2. Запруды на средних реках 3. Запруды на крупных реках	Характер подпруживания	Оползневой Обвальный Лавинный Селевой Осововый Осыпной	Тысячи $м^3$ Сотни тысяч $м^3$ Сотни миллионов, миллиард $м^3$
	Древние завалы и плотины 1. Древние завалы 2. Насыпные плотины 3. Плотины других конструкций	Разрушения завалов и плотин, вызванные: 1) переливом воды в результате; а) обвалов б) оползней, в) селей; 2) землетрясениями 3) суффозией		
III. Очаги, связанные с деятельностью современных ледников	1. Ледниковые озера 2. Запруды поверхностных и подземных водотоков	Разрушения перемычек, вызванные переливом воды в результате: а) интенсивного таяния льда и снега; б) обрушения морены в озеро Разрушения перемычек в результате размыва		

Таблица 3.1

очагов зарождения селей

Характер формирования твердой составляющей	Характер формирования водной составляющей	Характер формирования селевого потока
5	6	7
Обычно постепенное (от нескольких месяцев до нескольких лет) загромождение русла рыхлообломочным материалом или одновременное с формированием селя	За счет дождей и таяния снега	Первоначальное сдвижение обломочного материала происходит в виде оползания или смещения под действием воды (эрозия). Катастрофа вызывается атмосферными осадками (дождями), реже интенсивным таянием снега
Очень быстрое (от нескольких минут до нескольких суток) поступление рыхлообломочного материала, подпруживающего реку, а также за счет размыва русловых отложений и подмыва берегов	За счет воды, накопившейся за перемычкой (запрудой) с момента подпруживания до начала разрушения (до начала перелива через перемычку)	Селевая катастрофа наступает в результате прорыва запруды. Формирование селя непосредственно не зависит от атмосферных осадков и начинается при переливе воды через запруду
За счет материала завала или плотины, размыва русловых отложений и подмыва берегов	За счет воды в озере или водохранилище	Селевая катастрофа вызывается внезапным переливом воды через плотину или завал, внезапным обрушением бортов озера или селевыми потоками. Формирование селя не зависит от атмосферных осадков
За счет размыва морены, а также рыхлообломочных пород, слагающих русло	За счет таяния ледников, прорыва моренных озер и подземных водоемов	Селевая катастрофа вызывается интенсивным таянием ледника, погребенного льда, очень редко летними теплыми дождями. Развитие катастрофы быстрое и наблюдается обычно в период жаркой погоды

5386

1	2	3	4
IV. Очаги, связанные с деятельностью вулканов		1. Выбросы рыхлообломочного материала и водяных паров 2. Выбросы рыхлообломочного материала и прорыв кратерных озер (тип гунунга) 3. Таяние ледников при активизации вулканической деятельности 4. Оползание вулканических конусов	

ников при активизации вулканической деятельности и оползания крупных массивов вулканических конусов. Грязевые потоки, образующиеся при извержении вулканов, могут достигать катастрофических масштабов и вызывать трагические последствия (гибель Помпеи, катастрофы на острове Ява в 1923 г. и в Каскадных горах при извержении вулкана Святой Елены в 1980 г.).

Классификация селевых потоков

Селевые потоки могут быть подразделены по следующим основным признакам: гранулометрическому составу твердой составляющей, состояния воды, режиму движения, насыщенности рыхлообломочным материалом.

Классификация селевых потоков по гранулометрическому составу твердой составляющей

Гранулометрический состав твердой составляющей является одним из важнейших показателей селевых потоков, который в значительной степени определяет характер их движения. Первая классификация селей по этому признаку была предложена К.И. Богдановичем [1]. М.А. Великанов все селевые потоки подразделял на грязевые, грязекаменные и водокаменные [3]. Эта классификация широко используется и в настоящее время. М.В. Цовян сделал попытку использовать при классификации количественные показатели содержания различных гранулометрических фракций в селевых потоках [20]. С.М. Флейшман все селевые потоки по гранулометрическому составу твердой составляющей подразделяет на грязевые, грязекаменные, каменно-грязевые, водно-каменные, водно-песчаные, водно-пылеватые [19]. Во всех перечисленных классификациях нет обоснования границ между различными типами селевых потоков.

Селевые потоки по гранулометрическому составу представляют собой весьма гетерогенное образование. Размер обломков и минеральных частиц может колебаться в очень широких пределах от микронов до нескольких метров в поперечнике. В 1978 г. А.И.Шеко на основе общей классификации крупнообломочных пород по гранулометрическому составу разработал классификацию селевых потоков по этому признаку. При этом он исходил из того, что при разделении селевых потоков наиболее важное значение имеет наличие и минеральный состав мелкозема (частиц < 2 мм), особенно глинистых частиц. Содержание глинистых частиц и их минеральный состав определяют в основном реологические особенности селевого потока. Пылеватые и тем более песчаные частицы способны на своей поверхности удерживать меньшее количество связной воды. Поэтому по особенностям физико-механических свойств твердая составляющая селевых потоков может быть подразделена на две части: крупнообломочную (> 2 мм) и мелкозем (<2мм). Крупнообломочный материал в селевом потоке, как правило играет роль инертного

Продолжение табл. 3.1.

5	6	7
Осаждение продуктов извержения вулканов перед ливнем и вместе с дождем, а также поступление продуктов разрушения при прорыве кратерных озер	За счет дождей, таяния снега и ледников, а также выплеска воды из кратерных озер во время извержения вулкана	Селевые потоки формируются во время и после извержения вулкана

заполнителя, в то время как мелкозем может образовывать связную грунтовую (селевую) массу. На основании вышеизложенного классификацию селевых потоков по гранулометрическому составу можно построить следующим образом [21].

По размерам крупнообломочного материала (> 2 мм) твердой составляющей селевые потоки подразделены на четыре группы: а) дресвяные – содержание гальки и валунов менее 10% от всей массы крупнообломочного материала; 2) галечниковые – содержание гальки и валунов более 10%, при этом валунов меньше, чем гальки; 3) валунные – содержание валунов более 10%; при этом более крупные обломки составляют менее 10%; 4) глыбовые – содержание глыб более 10%. По общему содержанию крупнообломочного материала в твердой составляющей выделены следующие классы с содержанием обломков размерами более 2 мм: 1) <10%; 2) от 10 до 35%, 3) от 35 до 65% и 4) > 65%. Мелкоземистую часть (< 2 мм) твердой составляющей селей по содержанию глинистых частиц целесообразно подразделять на четыре типа: 1) глина – содержание глинистых частиц >35%; 2) суглинок – 35–15%; 3) супесь – 15–5%; 4) песок – <5%.

Таким образом, по гранулометрическому составу твердой составляющей можно выделять 16 разновидностей селевых потоков. Для того, чтобы избежать сложных словосочетаний для обозначения выделенных разновидностей, селевых потоков, целесообразно использовать цифровые обозначения в виде трехзначного числа (арабские цифры). При этом условимся, что первая цифра обозначает группу селевых потоков по размерам крупнообломочного материала, вторая – класс селевых потоков по общему содержанию крупнообломочного материала (обломков размером > 2 мм), третья – гранулометрический состав мелкозема (частиц размером < 2 мм). Эта классификация представлена на рис. 3.1 в виде графика–треугольника. На сторонах треугольника откладываются содержание частиц основных гранулометрических групп фракций. Группа селевого потока определяется по градации, приведенной под графиком–треугольником. Например, гранулометрический состав твердой составляющей представлен следующими фракциями: галька–15%, гравий – 15%, песок и пыль – 50%, глина – 20%. Этот селевой поток должен быть отнесен ко 2–й группе (гальки > 10%, валунов нет совсем), ко 2–му классу (содержание обломков >2 мм находится в пределах 10–35%), 2–му типу (содержание глинистых частиц – в пределах (15–35%) и его обозначение имеет вид – "222". Такое обозначение гранулометрического состава селевых потоков представляется более удобным, чем длинные труднозапоминаемые названия. Зная принципы этой классификации, ее можно легко запомнить.

Классификация селевых потоков по состоянию воды и режиму их движения

В 1956 г. в СССР было принято решение по состоянию воды выделять два типа селевых потоков: связные, если основная масса воды в селевом потоке связана с мелкоземом (главным образом с коллоидными частицами) и несвязные, если, кроме связной воды, в селевом потоке имеется большое количество свободной воды. На графике, изображенном на рис. 3.1, показаны области гранулометрического состава твердой составляющей, в которых могут формироваться селевые потоки, в которых вода может находиться в различных состояниях. В области А могут формироваться как связные, так и несвязные селевые потоки, а в области Б – только несвязные. Количество связной воды в селевом потоке зависит от многих факторов и, прежде всего, от количества и минерального состава глинистых частиц. Но при прочих одинаковых условиях количество связной воды зависит от скорости движения селевого потока. Чем скорость больше, тем меньше связной воды. На основе экспериментальных исследований Л.И. Кульчицкого, можно принять, что максимальное количество воды в песчано-глинистых пастах (в том числе селевой массе) в состоянии покоя будет равно примерно двум верхним пределам пластичности.

Селевые потоки могут иметь турбулентный и ламинарный характер движения. Несвязные селевые потоки могут двигаться только в турбулентном режиме, а связные движутся как в турбулентном, так и в ламинарном режимах.

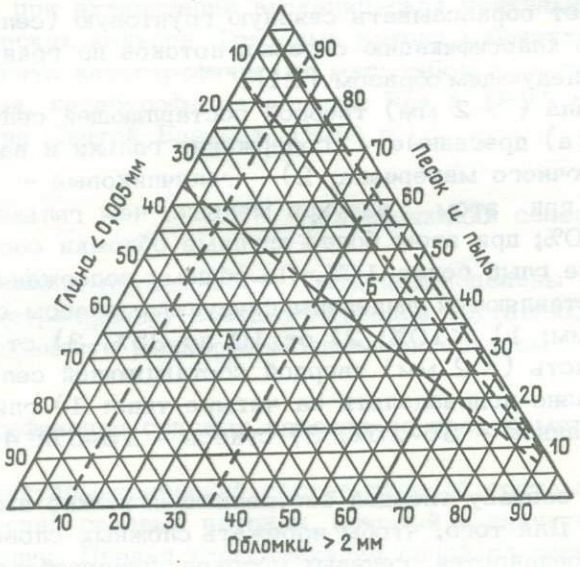


Рис. 3.1. График для определения типа селевого потока по гранулометрическому составу твердой составляющей Области формирования селей: А – связных и несвязных; Б – несвязных. Характеристика крупнообломочных фракций приведена в тексте

2. Формирование селевых потоков

Формирование твердой составляющей

Особенности формирования твердой составляющей, его гранулометрический и петрографический состав определяются геологическим строением очагов, геоморфологией долины, размерами водотоков и их режимом.

Очаги, связанные со скоплением рыхлообломочного материала в руслах временных и малых водотоков

Очаги этой группы имеют широкое распространение. Как уже отмечалось, с этими очагами связано формирование основной массы селевых потоков. Твердая составляющая в этих очагах формируется за счет сноса со склонов долины продуктов разрушения коренных пород в русло водотоков или в случае, если долина выполнена рыхлообломочными четвертичными образованиями, за счет их размыва. В первом случае рыхлообломочный материал в русло водотоков транспортируется различными денудационными процессами: оползнями, обвалами, осыпями, лавинами, солифлюкцией, мелкими струями воды и т.д. Накопление рыхлообломочного материала происходит постепенно в

течение продолжительного периода времени. При этом материал, который поступает в русло временных и малых водотоков, частично уносится; устанавливается динамическое равновесие между расходом и скоростью воды (кинетической энергией), с одной стороны, и объемом и гранулометрическим составом рыхлообломочного материала, поступающего в русло, с другой. В русле образуется отмостка, состоящая из обломков, размер которых соответствует паводковому расходу. Но паводочный расход не бывает постоянным. Большие паводки имеют малую обеспеченность и повторяются реже, чем небольшие паводки. С момента прохождения большого паводка проходит несколько лет, и за это время водный поток может быть завален крупными обломками (глыбами) и превратиться в подрусловой. С этого момента в тальвеге может накапливаться не только крупнообломочный материал, но и мелкозем.

Интенсивность поступления рыхлообломочного материала определяется метеорологическими условиями. Массовое поступление рыхлообломочного материала в русла временных и малых водотоков происходит при выпадении аномально больших количеств жидких осадков за счет активизации всех генетических типов денудационных склоновых процессов. В покровных песчано-глинистых отложениях повсеместно развиваются оплывины и оползни; на крутых склонах, сложенных рыхлообломочными отложениями, происходят массовые обрушения в виде небольших обвалов и осыпей. С интенсивными дождями также связаны массовые осовы осыпного материала и обвалы в выветрелых скальных породах. В зоне развития многолетнемерзлых пород во время сильных дождей и высоких температур интенсивно развиваются солифлюкционные процессы. Эти же причины могут вызвать катастрофические подвижки курумов, которые нередко загромождают русло водотоков каменным материалом. Лавины часто подпруживают малые горные потоки. Однако прорыв снежных плотин – явление довольно редкое, так как вода обычно проделывает в снегу тоннели, и спуск воды не носит катастрофического характера. В тех сравнительно редких случаях, когда сели возникают в результате прорыва снежных плотин, твердая составляющая в своем составе содержит большое количество снега. Подобные случаи образования селевых потоков описаны В.Ф. Перовым [16], А.М. Комлевым [6] и другими.

Формирование твердой составляющей за счет размыва русловых отложений может начаться только в том случае, когда расходы водного потока и скорость его движения превысят критические, т.е. будут достаточными, чтобы сорвать существующую отмостку и не допустить образование новой отмостки из более крупных обломков, содержащихся в размываемых отложениях. Этот вопрос более детально рассмотрен в последующих разделах данной главы.

Очаги, связанные с подпруживанием рек

Твердая составляющая селей в очагах этой группы формируется в основном за счет размыва русловых отложений и обрушения рыхлообломочных пород с бортов долины при их подмыве ниже завала или плотины. Однако значительная часть материала может поступать также за счет разрушения естественных запруд. Гранулометрический состав запруд зависит от их генезиса и литологического состава исходных пород. При подпруживании рек оползнями запруды обычно в своем составе содержат большое количество мелкозема, как это имело место при подпруживании р. Зеравшан в 1964 г. (СССР). В этом случае при оползании выветрелых пород силурийского флиша произошло их сильное дробление. Обрушение происходило с большой скоростью, поэтому оползневые накопления в нижней части уплотнились и образовали водонепроницаемую плотину. Однако имеют место случаи, когда при быстром обрушении огромных масс горных пород объемом до нескольких кубических километров большая часть массива испытывает незначительное дробление. Подобное явление наблюдалось при Усойском оползне (СССР) в 1911 г. Несмотря на то, что скорость смещения была очень большой, а характер движения очень сложным (тыловая часть оползневого массива испытала обратные движения) первоначальный облик структуры массива в основном достаточно хорошо сохранился. Сильно разрушенной оказалась только самая верхняя часть оползневого массива до глубины 30–50 м при общей мощности 500–700 м. В запрудах обвального гене-

зиса первоначальная структура массива сильно нарушена и представляет собой нагромождения крупнообломочного материала (блоки, глыбы, щебень). Такие завальные плотины характеризуются хорошей водопроницаемостью. При выплеске воды из водохранилища через искусственные плотины или разрушение бетонных плотин твердая составляющая селей и катастрофических паводков (которые чаще обазуются при этом) может формироваться только за счет рыхлообломочных пород, слагающих русло и борта долины ниже плотины.

Очаги, связанные с деятельностью современных ледников

Твердая составляющая в этих очагах на начальной стадии зарождения формируется только за счет современных морен, поэтому гранулометрический состав селевой массы на этой стадии целиком зависит от состава морены. При этом в формировании селевого потока может принимать участие только оттаявший ее слой. Мерзлая морена практически не принимает участия в формировании твердой составляющей; мощность оттаявшего слоя морены обычно не превышает 2–3 м; в начале лета она минимальная, а к осени достигает максимума.

При выходе из зоны современной морены в зону альпийских лугов происходит дальнейшее обогащение селевых потоков рыхлообломочным материалом за счет размыва древних гляциальных и флювиогляциальных отложений. Например, во время катастрофического селевого потока, прошедшего по р. Мал. Алмаатинке (СССР) 7 июля 1973 г., первоначально при прорыве моренных озер твердая составляющая селя сформировалась только за счет верхнего оттаявшего слоя современной морены. На пологом участке долины в пределах среднечетвертичной морены (альпийские луга) основная глыбовая часть твердой составляющей, не дойдя до плотины, отложилась в урочище Мынжилки. Новое основное формирование твердой составляющей этого селевого потока происходило на участке между современным эрозионным врезом (немного ниже плотины Мынжилки) и урочищем Чимбулак (Тянь-Шань) за счет глубинного размыва флювиогляциальных отложений, который на отдельных участках (альпийский лагерь "Эдельвейс") достигал 30 м. В урочище Чимбулак в русле реки рыхлые отложения были размыты на всю мощность до коренных пород.

Очаги, связанные с деятельностью вулканов

При извержении некоторых вулканов из кратеров выбрасывается огромное количество пепла и вулканических бомб. Продукты извержения разносятся на большие расстояния, но основная их часть выпадает на склонах вулкана и непосредственно прилегающей к нему территории. Извержение Везувия почти всегда сопровождалось выбросом огромного количества рыхлообломочного материала. Особенно катастрофические последствия имело его извержение в 79 г., когда под вулканическим пеплом и грязевыми (селевыми) потоками были погребены города, расположенные у подошвы склонов этого вулкана (Помпея, Геркуланум, Стабия). Огромное количество рыхлообломочного материала выбрасывается при извержении камчатских вулканов. Во время извержения вулкана Ксудач в СССР было выброшено около 3 млрд.м^3 рыхлого материала. При извержении вулкана Авачинская сопка в СССР в 1945 г. мощность выпавшего пепла составила 45 мм. Эти продукты извержения служат источником формирования твердой составляющей селевых потоков (лахаров), формирующихся при извержении вулканов.

Следует отметить, что, если извержение сопровождается ливнем, то пепел еще в воздухе смешивается с водой и выпадает в виде грязи, которая, попав на крутые склоны, может стекать в русло водотоков. Случай выпадения грязи из вулканического пепла при извержении Везувия в 994 г. описан в работе М. Неймайра [11].

Формирование жидкой (водной) составляющих селевых потоков

Водная составляющая селевых потоков может формироваться за счет жидких атмосферных осадков (дождей и ливней), таяния снега и ледников, прорыва завальных озер

и водохранилищ. Дожди и ливни играют основную роль в формировании селевых потоков. Меньшее число селей связано с интенсивным таянием снега и ледников, а также с прорывом завальных озер. Значительное количество воды в селевой поток поступает за счет воды, содержащейся в горных породах. В Средней Азии (СССР) из 990 случаев прохождения селей (что составляет 44% всего количества зарегистрированных селей за период с 1870 по 1959 гг.) 87% были обусловлены дождями и ливнями, а таянием снега и ледников –7%. На долю других факторов приходится всего 6%. В результате прорыва завальных озер за последние 75 лет образовалось 10 катастрофических селевых потоков [17]. На Кавказе водная составляющая формируется главным образом за счет ливней и дождей. Прорыв ледниковых озер и завалов долин рек составляет всего лишь 1,4% [17]. В горных странах, где отсутствуют нивальные области, водная составляющая формируется преимущественно за счет ливней и дождей, редко за счет интенсивного таяния снега. В приполярных и полярных областях сели образуются при таянии снега, во время ливней и в результате прорыва снежных запруд, вызванных лавинами.

Временные и малые водотоки. Формирование селеобразующих паводков во временных и малых водотоках происходит за счет дождей (обычно ливневых), реже за счет таяния снега. Вода в русло водотоков с водосборного бассейна стекает как по поверхности склона, так и в виде мелкого грунтового стока. Вопросы формирования селеобразующих паводков на водотоках первого порядка с учетом потерь рассмотрены в работе А.И. Шеко [21]. Впитывание жидких осадков в почву и горные породы при дождях, которые вызывают селеобразующие паводки, составляет основную долю потерь. По характеру проникновения воды в горные породы принято различать инфлюацию и инфильтрацию. Под инфлюацией понимается процесс проникновения дождевых и талых вод в горные породы преимущественно в вертикальном направлении по крупным пустотам, в которых не действуют капиллярные силы, а инфильтрация – это процесс проникновения тех же вод в горные породы по мелким порам, в которых проявляются капиллярные, осмотические и сорбционные силы.

Как показали экспериментальные исследования и полевые работы, потери атмосферных осадков на впитывание в горных странах могут достигать большой величины. В высокогорных областях, на участках, где склоны с поверхности сложены крупнообломочным обвальным и осыпным материалом без мелкоземистого заполнителя, жидкие атмосферные осадки любой интенсивности полностью поглощаются, поверхностный сток на этих участках никогда не наблюдается. Основная масса воды, проникшая в глыбовый навал по контакту с коренными породами или по поверхности мерзлых пород (в высокогорных и нивальных областях), с большой скоростью движется в виде мелкого грунтового стока вниз по склону и разгружается в русла водотоков, и только небольшая часть этой воды по трещинам (если породы немерзлые) проникает вглубь и

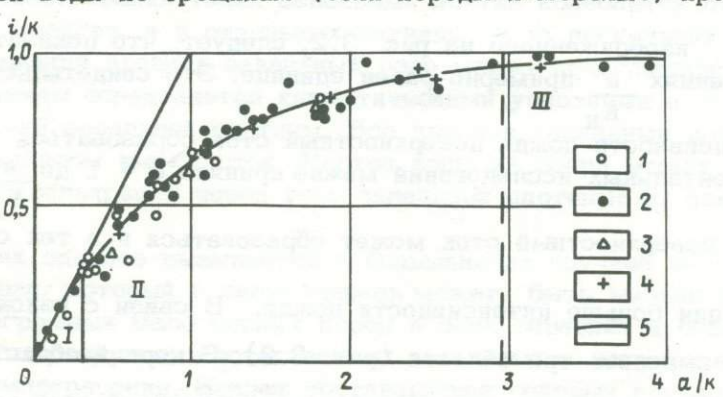


Рис. 3.2. Зависимость инфильтрации от интенсивности дождя (по Ю.Б. Виноградову) с выделением характерных областей по μ (по А.И. Шеко). По данным: 1 – Н.Н. Сурмач; 2 – А.И. Будаговского; 3 – С.Ф. Федорова; 4 – Ю.Б. Виноградова; 5 – теоретическая кривая по уравнению Ю.Б. Виноградова. Области: I – инфильтрации, II – инфильтрации и поверхностного стока, III – поверхностного стока (по А.И. Шеко)

5386

пополняет запасы подземных вод. В этом случае паводки, в том числе и селеобразующие, формируются только за счет мелкого грунтового стока. На склонах, сложенных песчано-глинистыми породами с почвенно-растительным покровом, атмосферные осадки, выпавшие в жидком виде, распределяются между инфильтрацией и поверхностным стоком. Потери на инфильтрацию при этом могут быть значительными и зависят от многих факторов, основными из них следует считать: литологические особенности почв и грунтов, их изменение в разрезе, влажность, характер растительного покрова, интенсивность дождя [21].

Зависимости инфильтрации от интенсивности дождя, приведенные к коэффициенту фильтрации, показаны на рис. 3.2 [21]. Анализ графиков зависимости инфильтрации от интенсивности дождя показал, что в начале координат она имеет почти прямолинейный характер и крутой наклон к оси $\frac{a}{K_н}$, а затем постепенно выполаживается, асимптотически приближаясь к ординате $\frac{i}{K_н} = 1$. Функциональная зависимость

$$i = K_н f\frac{a}{K_н}, \qquad (3.1)$$

где i – инфильтрация (мм./мин); $K_н$ – коэффициент напорной инфильтрации (коэффициент фильтрации), мм/мин и a – интенсивность осадков, мм/мин, имеет важное практическое значение, т.к. зная коэффициент фильтрации грунтов и интенсивность осадков, можно определить потери осадков на инфильтрацию.

Изменение наклона кривой (рис. 3.2) характеризует возможность перехода свободной инфильтрации в напорную, а тангенс этого угла показывает распределение дождя между поверхностным стоком и инфильтрацией и может быть назван показателем инфильтрации

$$\psi = \frac{i}{a}, \qquad (3.2)$$

где i – инфильтрация, мм/мин; a – интенсивность дождя, мм/мин.

Кроме этого показателя, целесообразно для оценки поверхностного стока пользоваться показателем поверхностного стока, который может быть выражен следующим образом:

$$\mu = \frac{a-i}{a}. \qquad (3.3)$$

Из графика, изображенного на рис. 3.2, следует, что показатель инфильтрации ψ при малых значениях $\frac{a}{K_н}$ примерно равен единице. Это свидетельствует о том, что при любой интенсивности дождя поверхностный сток образоваться не может. На основании экспериментальных исследований можно принять $\psi = 1$ до $\frac{a}{K_н} \approx 0{,}3$. При значениях $\frac{a}{K_н} > 0{,}3$ поверхностный сток может образоваться и в тех случаях, когда коэффициент фильтрации больше интенсивности дождя. В связи с изложенным, на графике $\frac{i}{K_н} = f\frac{a}{K_н}$ можно выделить три области (рис. 3.2). В первой области поверхностный сток не может образовываться, во второй – поверхностный сток может образоваться в течение некоторого времени, в третьей области поверхностный сток формируется очень быстро.

При выпадении дождя на сухую породу вначале происходит поглощение воды до насыщения ее до капиллярной влагоемкости. Поэтому зависимость (3.1) может быть справедливой, видимо, только тогда, когда установится равновесное состояние, т.е. когда влажность грунта достигнет значения капиллярной влагоемкости. Расчет расхо-

дов воды в водотоках первого порядка (временных и постоянных) можно производить по генетической формуле, но с учетом мелкого грунтового стока:

$$Q_{ск} = \sum_{m=1}^{m=P_1} \int_0^{r_n^*} (a - i_1) b' v_n dt + \sum_{m=1}^{m=P_2} \int_0^{r_1^*} (i_1 - i_2) b'' K l dt + \sum_{m=1}^{m=P_3} K_1 l h_1 b''', \qquad (3.4)$$

где $\int_0^{r_n^*} (a - i_1) b' v_n = dt$ – поверхностный сток с элементарного однородного участка шириной b' и временем добегания r_n^*; $\int_0^{r_1^*} (i_1 - i_2) \times b'' K_1 l dt$ – мелкий грунтовый сток на однородном участке, где он происходит не на всю мощность слоя; $b^н$ – ширина этого участка; K_1 – коэффициент фильтрации первого слоя; $K_1 l h_1 b'''$ мелкий грунтовый сток на однородном участке, где он проходит по всей мощности слоя; b''' – ширина участка.

Расход паводка в водотоке второго порядка будет равен:

$$Q_{rt} = \sum_{m=1}^{m=P} Q_{t-r_1} + Q_{ск}, \qquad (3.5)$$

где Q_{t-r_1} – расход водотока первого порядка с учетом добегания воды; $Q_{ск}$ – склоновый сток непосредственно в водоток второго порядка определяется по формуле (3.4). Расход воды в водотоках третьего порядка можно определить по формуле, аналогичной вышеприведенной. При этом с увеличением порядка водотока будет уменьшаться доля склонового стока, непосредственно попадающего в водоток, и увеличиваться потери воды на инфильтрацию в аллювиальные отложения речных террас.

Очаги, связанные с подпруживанием рек

По особенностям гидрологического режима эта группа очагов может быть подразделена на две подгруппы: а) завальные озера с неустановившимся положительным балансом и непродолжительным периодом существования; б) древние завальные озера с установившимся нулевым балансом воды. Ко второй подгруппе относятся также горные водохранилища с регулируемым режимом.

Разрушение подпруд, относящихся к первой подгруппе, происходит по мере накопления воды и может быть вызвано переливом ее через завал или фильтрацией через тело завала. Срок существования таких завальных плотин колеблется от нескольких минут до нескольких месяцев, а в отдельных случаях – до нескольких лет. Продолжительность существования древних завальных озер может исчисляться тысячами лет, их гидрологический режим определяется климатическими условиями и особенностями геологического строения завальной плотины. Все древние завальные озера с установившимся нулевым балансом имеют сток. Расход воды из озера может осуществляться за счет: а) только фильтрации через тело завальной плотины; б) поверхностного стока и фильтрации.

Разрушение древних заралов вызывается в большинстве случаев внезапным переливом воды через завал, который в свою очередь может быть вызван обрушением в озеро с его бортов огромных масс горных пород в виде оползней и обвалов или селевых потоков. Причинами разрушения естественных завальных и искусственных плотин могут быть также землетрясения. Водная составляющая селевых потоков, возникающих при прорыве завалов и плотин, формируется за счет вод озер или водохранилищ и непосредственно не зависит от атмосферных осадков. Максимальный расход паводка при прорыве завала и время спуска озера зависит от скорости формирования прорана и его размеров.

Смоченное или живое сечение прорана зависит прежде всего от характера процесса его формирования, а последний в свою очередь будет обусловлен особенностями геоло-

5386

гического строения завала и литологии пород, его слагающих, рельефа поверхности, характера и интенсивности процессов, протекающих в теле завала. Расход воды при прорыве завала и разрушении плотины может быть определен по формуле:

$$Q = w \cdot v, \qquad (3.6)$$

где w – живое сечение прорана в $м^2$; v – средняя скорость воды в проране в м/с. Для прогнозных расчетов скорость движения воды в проране в первом приближении может быть определена по формуле Шези. При этом необходимо обратить внимание на большую турбулентность потока, что повлияет на подбор соответствующих коэффициентов. Расходы воды в случае выплеска и перелива воды через плотину могут быть очень большими. Например, расход перелива воды через плотину Вайонт (Италия, 1963) составлял 200 000 – 300 000 $м^3/с$, а высота волны над гребнем достигала 70 м.

Следует отметить, что в настоящее время не существует методов расчета расходов воды при переливах через плотины и завалы рек, вызванных обрушением огромных масс горных пород в озеро или водохранилище.

Очаги, связанные с современными ледниками

Формирование жидкой (водной) составляющей в очагах зарождения селей, связанных с современными ледниками, обусловлено повышением температуры, что вызывает интенсивное таяние снега и льда, а также протаивание морены. Это в свою очередь может вызвать перелив воды из ледниковых озер, их прорыв, а также подпруживание и прорыв подпруд подземных и поверхностных водотоков. Особенно благоприятные условия для интенсивного формирования талых вод создаются в тех случаях, когда после большого снегопада в июле–августе наступает теплая солнечная или теплая дождливая погода в районе ледников. Заблаговременно определить начальные расходы паводка не всегда представляется возможным. Косвенными признаками величин расходов паводков начальной стадии формирования селей могут служить: а) объемы воды в моренных озерах, б) расходы поверхностных и подземных водотоков, опасных в отношении подпруживания, и размеры возможных подпруд. Иногда подпруживание крупных водотоков может происходить в результате обвалов и внезапных быстрых подвижек ледников, как это неоднократно наблюдалось, например, на реках Терек и Геналдон (Кавказ), а также в истоках р.Ванч (Памир). По мере движения селевого потока водная составляющая селевых потоков пополняется за счет притоков.

Очаги, связанные с деятельностью вулканов

Формирование жидкой составляющей селевых потоков (лахаров), связанных с вулканической деятельностью, происходит за счет ливней, усиления таяния ледников и прорыва кратерных озер. Во время извержения вулканов вместе с твердым материалом выбрасывается огромное количество водяных паров и мелких минеральных частиц. При извержении создаются благоприятные метеорологические условия для образования ливней – наличие перенасыщенных водяных паров, ядер конденсации и статического электричества. Все известные крупные извержения вулканов сопровождались грозовыми ливнями. Типичным примером подобного рода ливней являются грозовые дожди, вызванные извержением вулкана Везувия в 79 г. Вот как описывает это явление М. Неймайр на основании писем Плиния Младшего [11]: "Катастрофа началась сильным землетрясением, после этого из кратера поднялось огромное пиниеобразное (пиния – по–итальянски сосна) облако белых водяных паров... Водяные пары, выброшенные из кратера со страшной силой, образовали огромный столб, но на значительной высоте, там, где первоначальный толчок уже не мог действовать, они распространились в стороны, из ветвей гигантской пинии стали падать камни и пепел и пролились страшные потоки дождя, сопровождаемого молниями ужасающей силы. Дождевые воды смывали со склонов только что выпавший пепел и образовывали грязевые и грязекаменные потоки". Подобные явления наблюдались при извержении вулкана Кракатау в 1883 г. и многих других вулканов.

Следует отметить, что селевые потоки на конусах вулканов и прилегающей к ним территории могут вызываться дождями, не связанными с извержением вулканов. При этом твердая составляющая селевых потоков формируется за счет размыва ранее отложившихся на поверхности склонов рыхлых продуктов извержения.

В очагах типа гунунга жидкая составляющая формируется за счет выброса воды из кратерных озер или прорыва этих озер во время извержения. Ливневые дожди также могут вызывать селевые потоки как в процессе извержения вулкана, так и после него. С очагами типа гунунга нередко связаны горячие селевые потоки, так как воды в кратерных озерах действующих вулканов часто имеют высокую температуру. Очаги этого типа имеют широкое распространение на острове Ява и других островах этого района Тихого океана, а также на Японских островах (вулкан Комбодай и др.). Если склоны кратеров покрыты ледниками или снегом (вулканы Камчатки, Америки и др.), при активизации вулканической деятельности они начинают интенсивно таять, образуются водные потоки, которые из-за наличия на склонах кратеров большого количества рыхлого вулканического материала переходят в грязевые и грязекаменные потоки. Особенно интенсивное таяние снега происходит в том случае, когда лавовый поток течет по леднику. Подобные явления часто наблюдаются при извержении вулканов в Южной Америке. Излияние лавы непосредственно на ледник впервые установил в 1872 г. Рейс (11) для вулкана Котопаки (Эквадор). До этого существовало два мнения в отношении происхождения грязевых потоков, образующихся при извержении вулкана Котопаки. С одной стороны, предполагалось, что вода выливается из кратера, а с другой, считалось, что она образуется вследствие внезапного таяния льда и снега. В результате специальных исследований различных авторов было установлено, что выбрасываемая из кратера огненно-раскаленная лава движется по леднику. Особенно детально описал Вольф извержение Котопаки в 1877 г. Одной из особенностей этого извержения было то, что лава не распределялась на потоки, а выливалась из кратера равномерно по всему периметру, хотя до последнего извержения она вытекала в соответствии с рельефом кратера только через пониженные его участки в западном и восточном направлениях. А в этот раз лава выливалась внезапно по всему периметру. В связи с этим все ледники были покрыты лавой, что повлекло их интенсивное таяние. Уже через час все окрестные долины были залиты грязекаменными потоками. В ущелье Макзанахуойко, Эквадор, ширина потока достигала 100 м, а глубина 60 м. Потоки грязи и камней не только заполнили это ущелье, но перелились через водоразделы в другие ущелья. При этом грязевыми потоками была залита площадь 50-60 км^2. Скорость потока при выходе из ущелья достигала 10 м/с, а расход около 60 000 м^3/с. За три часа грязекаменный поток прошел 111 км.

Формирование и динамика селевых потоков

Формирование селевого потока - это взаимодействие двух основных компонентов (жидкого и твердого), взаимодействие особое, качественно отличающееся от взаимодействия воды и рыхлообломочного материала в обычном водном потоке. Это отличие заключается в том, что в селевом потоке количество движения в основном передается через твердую фазу, а в обычном паводке - через жидкую.

Механизм зарождения и динамика селевых потоков изучались многими исследователями. На основе анализа экспериментальных и теоретических исследований формирования селевых потоков, который дан в работах Ю.Б. Виноградова [9] и А.И. Шеко [21], можно выделить два основных типа зарождения селей: эрозионный и оползневой.

Эрозионное зарождение селей

При эрозионном характере зарождения селей высвобождение частицы (нарушение связей с другими частицами), сдвижение с места и перенос осуществляются водой или суспензией. Твердая фаза движется как во взвешенном, так и во влекомом состоянии. Скорость и характер твердой фазы зависят от размеров и формы частиц, наличия и характера связей между частицами. Мелкие частицы переносятся быстрее, чем крупные, а влекомые обломки перекатываются или скользят по дну. При неоднородном

гранулометрическом составе отложений, слагающих дно, образуется отмостка из обломков, которые при данной скорости (живой силе) потока не могут быть вовлечены в движение. С образованием отмостки прекращается размыв дна. Определенной скорости потока соответствует определенный средний диаметр обломков, образующий отмостку. Насыщение водного потока тесно связано с размываемостью горных пород, слагающих русло. В результате экспериментальных исследований размываемости крупнообломочных пород В.С. Круподеровым было установлено, что размыв начинается с выноса мелкозема, выполняющего пространство между крупными обломками [7]. По мере выноса мелкозема под действием пульсационных сил, обусловленных турбулентным характером потока, ослабляются связи обломка с соседними и он начинает раскачиваться, что в свою очередь способствует вымыву мелкозема из-под него и дальнейшему ослаблению связей. В случае, если мелкоземистый заполнитель представлен глинистыми разностями, то размываемость крупнообломочных пород при прочих одинаковых условиях будет зависеть от влажности и скорости размокания мелкозема.

Для оползневых отложений бассейна р. Шинг (СССР) время образования отмостки при одинаковых скоростях потока, по данным В.С. Круподерова, при влажности суглинистого заполнителя 12–16% было в два раза больше, чем при влажности этого компонента, равной 20–25%. При этом минимальная скорость потока, при которой происходил вымыв суглинистого заполнителя, была равна при влажности 20–25% – 0,1м/с, а при влажности 12–16% – 0,4–0,5 м/с. При размыве крупнообломочных пород, в которых суглинистый заполнитель находится в воздушно-сухом состоянии, при действии водного потока образуется корка увлажненного суглинистого заполнителя мощностью 10–12 мм, обладающая повышенной сопротивляемостью размыву по сравнению с сухой породой [7]. В результате экспериментальных исследований В.С. Круподеровым выявлена функция размываемости в зависимости от энергии потока по М.А. Мосткову, которая имеет нелинейный характер

$$N = Q\left(h + \frac{v^2}{2q}\right), \qquad (3.7)$$

где Q – расход воды, $м^3/с$; h – глубина, м; v – средняя скорость потока, м/с; q – ускорение силы тяжести, $м/с^2$. На рис. 3.3 приведены графики размываемости четвертичных отложений долины р. Шинг в зависимости от энергии потока.

Зависимость $W = f(N)$ достаточно хорошо аппроксимируется уравнением параболы:

$$W = K \cdot N^m. \qquad (3.8)$$

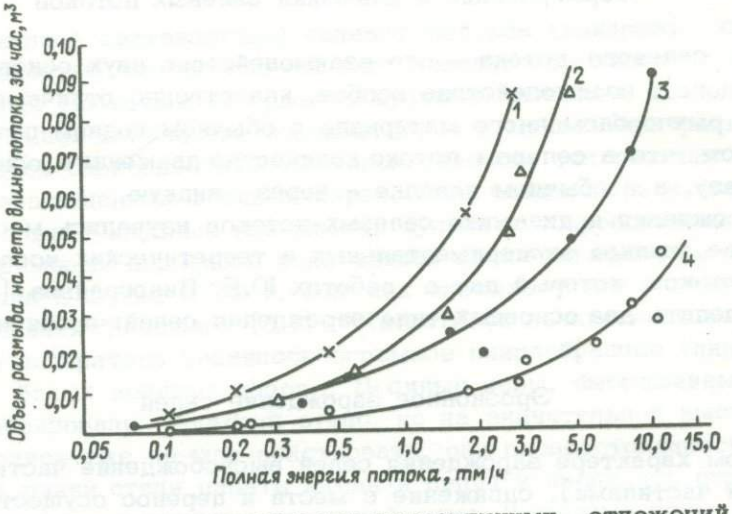


Рис. 3.3. Зависимость размываемости четвертичных отложений от энергии потока в долине р. Шинг, Таджикистан (по В.С. Круподерову): 1 – осыпные при влажности заполнителя 22–27%; 2 – пролювиальные, 3 – оползневые, 4 – осыпные при влажности 13–16%.

Все кривые на рис. 3.3 имеют одинаковый характер. При малых значениях энергии приращение объема размыва породы происходит медленно, затем при достижении некоторой величины энергии приращение его начинает резко увеличиваться, что указывает на лавинный характер разрушения структуры породы. Эти кривые могут быть использованы для определения минимальных скоростей, при которых могут формироваться селевые потоки. Глубина размыва до образования отмостки зависит от многих факторов, но основными из них следует считать гранулометрический состав и характер структурных связей крупнообломочных пород, а также энергию (скорость) потока. В случае бесконечной продолжительности потока во времени глубина размыва крупнообломочных пород определяется при данной скорости только их гранулометрическим составом.

В результате экспериментальных исследований в лотках установлено, что при пусках воды вначале происходит очень быстрое насыщение водного потока твердой фазой и превращение его в грязекаменный. Со временем концентрация твердой фазы в водном потоке уменьшается и происходит формирование отмостки. Опыты, проведенные в полевых условиях, подтвердили выявленную закономерность. Установлено, что в условиях опыта насыщение водного потока твердой фазой происходило на расстояние 5–6 м. Увеличение расхода (энергии) потока вызывает срыв отмостки и размыв дна потока до такой глубины, пока не образуется новая отмостка со средним диаметром обломков, отвечающим условию равновесия для данного расхода водного потока.

Концентрация твердой фазы в водном и селевом потоках определяется многими факторами:

$$C_т = f(v_p, l, Q_b), \tag{3.9}$$

где v_p – скорость размыва русла водотока; l – длина очага;
Q_b – расход воды.

В свою очередь каждый из указанных аргументов представляет собой сложную функцию. Следует отметить, что концентрация твердой фазы находится в явно прямой зависимости от скорости размыва русла и длины очага. Не совсем определенна зависимость концентрации от расхода водного потока. С одной стороны, чем больше расход, тем меньше концентрация, а с другой, – скорость размыва (расход твердой фазы) находится в прямой зависимости от расхода (энергии) водного потока. Вышеприведенная зависимость может быть представлена также в явном виде следующим образом:

$$C_т = \frac{W_т l}{Q_b}, \tag{3.10}$$

где W_t – расход твердой фазы с единицы длины, $м^2/с$; Q_b – расход воды с учетом влажности размытой породы, $м^3/с$; l – расстояние от головы очага до рассматриваемого створа, м.

Увеличение расхода энергии водного потока приводит к разрушению старой и формированию новой отмостки, отвечающей условию предельного равновесия более крупных обломков. При расходах, вызывающих лавинное разрушение критической отмостки и структуры грунтов, слагающих русла, водный поток испытывает качественное изменение и переходит в селевой. Под критической отмосткой следует понимать такую отмостку, после срыва которой начинается лавинное разрушение структуры породы и отмостка больше не образуется, а глубинный размыв может продолжаться до подошвы данного слоя рыхлообломочных отложений, как правило, до коренных пород. Перед моментом критического срыва отмостки наблюдается явление дилатансии, выражающееся в некотором расширении объема материала под действием сдвигающих сил [19]. Дилатансия – это признак начала лавинного разрушения отмостки. С этого момента передача количества движения в потоке осуществляется в значительной степени через твердую фазу. В этом заключается качественное отличие селевого потока от водного наносонесущего. С момента срыва критической отмостки начинается интенсивный глубинный размыв русла, который сопровождается подмывом и обрушением берегов.

Многочисленные наблюдения в разных районах Советского Союза показали, что образование отмостки при формировании селевого потока, как правило, не происходит. Поэтому глубина размыва в селевом очаге определяется мощностью рыхлообломочного материала или временем прохождения селеобразующего паводка. Как уже отмечалось,

во время прохождения селевого потока по р. Малой, Алмаатинке (СССР) в 1973 г. глубина размыва флювиогляциальных отложений составляла 30 м, и на отдельных участках на дне русла были вскрыты коренные породы. Вопрос о возможности образования отмостки в селевом очаге при формировании селевого потока может быть решен на основе анализа гранулометрического состава рыхлообломочных пород следующим образом. Принимаем, что для формирования отмостки в грунте необходимо наличие обломков, размер которых удовлетворял бы условию предельного равновесия. Диаметр таких обломков породы может быть определен по формуле:

$$d_n = KV^2. \qquad (3.11)$$

Коэффициент K у разных авторов колеблется от 3 до 12. Для крупных обломков М.А. Великанов рекомендует значения этого коэффициента равным 12. Обломки крупнее d_n потоком не увлекаются и остаются на дне русла. Будем считать, что размыв дна прекратится тогда, когда вся поверхность дна будет покрыта обломками диаметром d_n. В действительности, размыв прекратится немного раньше, так как между обломками будут "затененные" участки, где скорости будут меньше критических. В первом приближении размер таких участков условно может быть принят равным диаметру обломков, находящихся в предельно равновесном состоянии. Для оценки возможности формирования отмостки воспользуемся количественными показателями структуры пород: коэффициентом упаковки и приведенным коэффициентом упаковки, предложенными А.И. Шеко [21].

Коэффициент упаковки (K_1) – это отношение проекции расстояния между частицами грунта одинакового размера (l_1) к их диаметру (d_1):

$$K_1 = \frac{l_1 - d_1}{d_1}. \qquad (3.11)$$

Приведенный коэффициент упаковки $(K_{пр})$ определяется как отношение проекции среднего расстояния между частицами размером более заданного $(l_ц)$ к диаметру частиц, для которых определяется этот показатель (d_1):

$$K_{пр} = \frac{l_ц - d_1}{d_1}. \qquad (3.12)$$

Методика расчета этих показателей приведена в работе автора [10]. Результаты расчета показателей структуры селеобразующих пород в бассейне р. Чемолган (правый приток р. Большой Алмаатинки) по данным гранулометрической кривой, заимствованной из работы В.Н. Вардугина [15], приведены в таблице 3.2. В таблице 3.3 приведены данные анализа структуры соотношения частиц диаметром, соответствующим состоянию предельного равновесия и более крупных. Эта структура оценивалась при помощи коэффициента $K \geqslant d_n$, который представляет собой отношение проекции расстояния между частицами диаметром, соответствующим предельному равновесию, к диаметру этих частиц. Из анализа данных, приведенных в табл. 3.2. и 3.3, можно сделать следующие выводы. Коэффициенты упаковок для обломков от 2 до 5000 мм, составляющих 80% массы всей породы, не превышает 0,63, а для гравия (2–20 мм) он уменьшается до 0,18. Только для крупных глыб (> 5000 мм) коэффициент упаковки равен 2,1, а расстояние между центрами глыб составляет 16,7 м. Это указывает на то, что при сдвижении все обломки, за исключением глыб, могут зацепляться друг за друга. Приведенный коэффициент упаковки даже для гравия имеет отрицательные значения. Это свидетельствует о том, что в целом в породе обломки разного размера образуют жесткую структуру, заходя друг за друга, а прочность породы определяется зацеплением обломков. Из табл. 3.3. следует, что $K \geqslant d_n$ для всех фракций от 2–20 до 1000–5000 мм колеблется в очень незначительных пределах, от –0,1 до 0,15. Это свидетельствует о том, что формирование отмостки из обломков данных фракций происходит очень быстро. При этом будут размываться породы на очень малую глубину. При формировании отмостки из фракции 2–20 мм размыв происходить практически не будет ($K \geqslant d_n =$

Таблица 3.2

Характеристика структуры селеобразующих горных пород в бассейне р. Чемолган (правый приток р. Большой Алмаатинки)

Размер фракций, мм	Средний диаметр фракций $c_{ср}$, мм	Содержание фракций, %	Количество частиц на 1 м n шт	Расстояние между центрами частиц, l мм	Коэффициент упаковки K_1	Приведенный коэффициент упаковки ко всем частицам $K_{пр}$
< 0,005	–	0,1	–	–	–	–
0,005–0,05	–	0,9	–	–	–	–
0,05–2	–	15–0	–	–	–	–
2 – 20	11	24,0	75,0	13	0,18	–0,1
20–50	35	10,0	17,5	57	0,63	–0,72
50–200	125	10,0	4,9	204	0,63	–0,87
200–500	350	10,0	1,75	570	0,63	–0,93
500–1000	750	12,0	0,87	1150	0,53	–1,0
1000–5000	3000	14,0	0,23	4500	0,50	–1,0
> 5000	7500	4,0	0,06	16 700	2,10	–1,0

= –0,1). В этом случае будет вымыто небольшое количество частиц размером менее среднего диаметра. Формирование отмостки из крупного гравия (20–50 мм) произойдет, когда будет размыт слой мощностью 5 мм, а при среднем диаметре обломков 125 (50 – 200 мм) средняя глубина размыва после срыва отмостки составит в среднем около 3 мм. Значительный размыв должен наблюдаться при формировании отмостки с d_n – 750 и 3000 мм, соответственно 130 и 450 мм. Но, если учесть, что диаметр затененности в этом случае также будет большой, то глубина размыва, видимо, будет небольшой.

Из анализа структуры селеобразующей породы следует, что при срыве отмостки, сложенной обломками с d_n от 2 мм до 1–5 м, водный поток твердой фазой насыщается медленно, а предельное насыщение его может происходить только в случае большой длины селевого очага. При срыве отмостки с обломками d_n = 1–5 м происходит интенсивный размыв, и водный поток приобретает селевой характер. До момента срыва отмостки, образованной глыбами 1–5 м, концентрация твердой фазы, по-видимому, никогда или редко может достигать типично селевого потока. Эти потоки, по терминологии Ю.Б. Виноградова, соответствуют наносонесущим паводкам. При срыве этой отмостки образуются селевые потоки высокой плотности, вода в которых при соответствующем содержании глинистых частиц может находиться в связном состоянии.

Оползневое зарождение селей

При оползневом характере зарождения селей первоначальное сдвижение твердой фазы (рыхлообломочного материала) происходит по одной поверхности в виде сплыва или оползня-потока без нарушения или со слабым нарушением структуры. По мере дальнейшего движения смещенного массива и поступления воды происходит нарушение структуры, и оплывина или оползень-поток превращается в селевой поток. При этом следует различать два вида оползневого зарождения селей: а) сдвижение рыхлообломочного материала, накопившегося в русле водотока; б) оползание части массива на склоне или в ложбине.

5386

Таблица 3.3

Структуры частиц диаметром, соответствующим состоянию предельного равновесия, и более крупных – в селеобразующих породах в бассейне р. Чемолган (правый приток Большой Алмаатинки)

Количество частиц фракции, для которых определяется $K \geqslant d_n$	Средний диаметр частиц, для которых определяется $K \geqslant d_n$ (мм)	Расстояние между		Коэффициент структуры возможной отмостки $K \geqslant d_n$
		центрами частиц $l \geqslant d_n$	частицами $l \geqslant d_n - d_n$	
> 5000 Σ_n = 100, 31 2–20	11	10	-1	-0,1
> 5000 Σ_n =25,31 20–50	35	40	5	0,14
> 5000 Σ_n = 7,81 50–200	125	128	3	0,02
> 5000 Σ_n =2,91 200–500	350	344	-6	-0,02
> 5000 Σ_n =1,16 500–1000	750	862	112	0,15
> 5000 Σ_n =0,29 1000–5000	3000	3450	450	0,15
> 5000 Σ_n = 0,06 > 5000	5000	16670	11 670	2,33

Первый вид оползневого зарождения селей обычно наблюдается в крутых тальвегах (> 15°). Механизм первоначального сдвижения в этом случае можно представить следующим образом. В русле водотока в результате проявления осыпных, оползневых и других процессов происходит постепенное накопление рыхлообломочного материала. Когда мощность этого материала достигает критического значения для соответствующих значений влажности грунтов, крутизны тальвега и гидродинамического давления, происходит его сдвижение.

При этом следует различать два случая, когда русло выработано: а) в скальных и полускальных породах и б) в рыхлых и слабосвязных четвертичных отложениях, содержащих нередко в своем составе большое количество крупнообломочного материала.

Типичным примером селевых очагов первой разновидности являются очаги, расположенные в верховьях р. Куры (правый приток Терека, СССР). Верховье р. Куры имеет веерообразную форму с разветвленной сетью мелких водотоков, русла которых выработаны в глинистых сланцах нижней юры. Средний уклон этих водотоков составляет

0,41 и увеличивается вверх по течению. Глинистые сланцы быстро выветриваются, продукты разрушения, представленные глинисто-щебнистым материалом, накапливаются в руслах мелких водотоков. Во время дождей этот материал легко приходит в движение. При этом в верхних частях водотоков, где уклоны тальвегов наиболее крутые, сдвижение рыхлообломочного материала происходит при незначительной его мощности. Пришедший в движение материал во время небольших дождей перемещается в виде оползней-потоков вниз по долине и отлагается на участках с более пологими уклонами русла. После того как в нижних частях мелких водотоков накопится рыхлообломочный материал большой мощности, он во время сильных дождей насыщается водой, приходит в движение и превращается в селевой поток. Второй вид оползневого зарождения селей представляется следующим образом. На склоне обычно в верхней прибровочной части пологой ложбины (но не обязательно) происходит оползание переувлажненного верхнего слоя грунта. При этом поверхность первоначального сдвижения при малой мощности захвата смещаемых пород выклинивается на склоне на небольшом расстоянии от бровки отрыва. Сдвинувшаяся масса перегружает часть склона, непосредственно примыкающую к языку сплыва (оплывины), что вызывает сдвижение и этой части склона. Таким образом начинается лавинное вовлечение в движение все новых и новых масс переувлажненных пород. По мере продвижения вниз по склону размеры оплывины увеличиваются. При подходе к молодым крутым склонам скорость движения ее возрастает, материал еще более насыщается водой. На своем пути этот грязевой поток вовлекает в движение рыхлообломочный материал, накопившийся в русле, эродирует его, разжижается и превращается в селевой поток. При большей мощности первоначально сдвигаемых пород выклинивание поверхности скольжения происходит на большем расстоянии от бровки. В связи с этим увеличиваются размеры ядра, в котором первоначальная структура не нарушена.

В случае оползневого зарождения селевых потоков устойчивость рыхлообломочного материала в тальвегах, ложбинах или на склонах определяется из соотношения сил сдвигающих (T) и сил сопротивления (R).

Условие равновесия может быть записано:

$$T = R. \tag{3.12}$$

Сдвигающие силы будут равны:

$$T = P \cdot \sin\alpha, \tag{3.13}$$

а силы сопротивления:

$$R = P \cdot \cos\alpha - \operatorname{tg}\varphi + C l S, \tag{3.14}$$

где P – масса массива рыхлообломочных пород, подготовленного к сдвижению; α – средний угол склона; φ – угол внутреннего трения; C – сцепление, l – длина поверхности скольжения; S – периметр поверхности скольжения.

Если смещаемый массив рыхлообломочной породы обводнен, то при расчетах необходимо учитывать гидродинамические и гидростатические силы. В этом случае Ю.Б. Виноградов предлагает расчет сдвигающих и удерживающих сил производить соответственно по формулам:

$$\sigma_{(+)} = qz\{\beta[\rho(1-\varepsilon)+\rho_0\varepsilon]+(1-\beta)\gamma_\omega\}\sin\alpha\cos\alpha; \tag{3.15}$$

$$\sigma_{(-)} = qz[\beta(\rho-\rho_0)(1-\varepsilon)+(1-\beta)\gamma_\omega]\operatorname{tg}\varphi\cos^2\alpha + C \tag{3.16}$$

где $\sigma_{(+)}$ и $\sigma_{(-)}$ – силы, соответственно сдвигающая и удерживающая толщу породы, Н/м^2 – глубина от поверхности земли до поверхности сдвига, м; q – ускорение силы тяжести, м/с^2; β – мощность (по вертикали) фильтрационного потока, в долях z; ε – пористость; γ_W – плотность (объемная масса) рыхлообломочной породы при влажности w, кг/м^3; ρ – плотность вещества породы, кг/м^3; ρ_0 – плотность воды, кг/м^3; α – угол наклона дна ложбины; φ – угол внутреннего трения, C – сцепление, Н/м^2 (два последних показателя при полной влагоемкости).

С момента сдвижения массива начинает нарушаться его первоначальная структура до полного ее распада, и движение из структурнопластического (Шведова-Бингама)

5386

переходит в вязкопластическое (ньютоновское). Этот вопрос изучен С.М.Флейшманом [19]. Из рис. 3.4 видно, что при $\tau < \tau_0$ в массиве имеют место только упругие деформации. В момент, когда $\tau > \tau_0$, происходит сдвижение массива рыхлообломочной породы по четко выраженной поверхности, которая совпадает с дном русла или проходит на глубине, отвечающей данному динамическому условию. При $\tau_0 < \tau \leqslant \tau_{кр}$ происходит разрушение структуры, но в движущемся массиве сохраняется ядро с ненарушенной структурой, а при $\tau \geqslant \tau_{кр}$ начинается лавинное разрушение структуры, в связи с чем резко, на несколько порядков (в миллионы раз), уменьшается вязкость, которая принимает минимальные значения, отвечающие данной влажности и динамическим условиям, гранулометрическому составу рыхлообломочной породы и минеральному составу глинистых частиц. До момента полного нарушения структуры смещающийся массив характеризуется структурным или структурно-ламинарным режимом движения, после разрушения структуры поток приобретает ламинарный характер движения. В этот момент осуществляется качественный скачок одного вида движения – оползневого, с ядром рыхлообломочных пород с ненарушенной структурой, в другой вид движения – вязкопластический. Это явление и следует считать границей перехода оползня-потока в селевой поток.

Динамика селевых потоков

После зарождения селевой поток продолжает двигаться по руслу. Характер русла в значительной степени определяет динамику селевого потока. Крутые повороты, изменение продольных уклонов русла, ширина его, наличие заторных участков, характер поступления жидкой и твердой составляющих являются основными факторами, определяющими наиболее важную особенность динамики селевых потоков, – пульсационный характер гидрографа, который выражается в виде валов. Количество валов в селевом потоке может колебаться в очень широких пределах – от нескольких до сотни и более. Например, в селевом потоке, который прошел по р.Большой Алмаатинке в 1977 г. (СССР), согласно сообщению А.С. Деговца, было зафиксировано 200 – 300 валов. Высота их достигала 20 м, а на отдельных участках заплески селя обнаружены на высоте 30 м над дном русла.

Вопрос о режиме движения после долгих дискуссий в настоящее время может считаться решенным. Селевые потоки могут течь в двух режимах: турбулентном и ламинарном. Наиболее характерным следует считать турбулентное движение. В турбулентном режиме могут двигаться несвязные и связные селевые потоки, но турбулентность связных селей меньше, чем несвязных. На рис. 3.5 приведена фотография связного селя, текущего в ламинарном режиме. В процессе движения связный селевой поток в случае, если происходит его разубоживание, может перейти в несвязный. Обратный переход

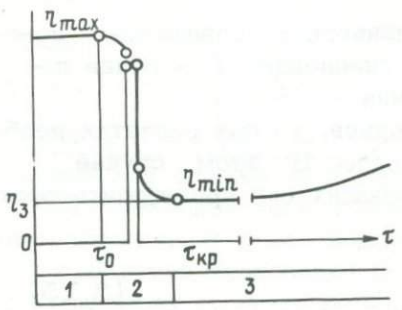


Рис. 3.4. Схема гидродинамических состояний связного селевого потока (по С.М. Флейшману) η_{max} – максимальная эффективная вязкость, соответствующая упругим деформациям; η_{min} – минимальная эффективная вязкость, соответствующая полному разрушению структуры; τ_0 – предельное напряжение; сдвига; $\tau_{кр}$ – напряжение, при котором происходит полное разрушение структуры, τ – напряжение сдвига, τ – вязкость Состояния:

1. – $\tau < \tau_0$

2. – $\tau = d\tau_0 + \eta \dfrac{dv}{dn}$

3. – $\tau = \eta \dfrac{dv}{dn}$, где $\dfrac{dv}{dn}$ градиент скорости, $0 < d < 1$

в настоящее время отрицается. Однако это положение в связи с новыми экспериментальными данными и на основании теории эрозионного зарождения селей, изложенной выше, должно быть пересмотрено.

В случае, если селевой поток в процессе движения обогащается глинистой фракцией, возможен переход несвязного селевого потока в связный. Подтверждением может служить характер следов грязевой части селей, которые были оставлены на деревьях и на берегах при заплесках в долине р. Малой Алмаатинки. Косвенным доказательством этого положения является также большая плотность селевых потоков, которые прошли в бассейнах рек Большой и Малой Алмаатинки. В этом отношении представляет интерес селевой поток, прошедший по р. Малой Алмаатинке в 1973 г. В развитии этого селевого потока выделяются две части: верхняя от ледника до габионной плотины Мынжилки, которая расположена выше современного вреза р. Малой Алмаатинки, и нижняя – от габионной плотины до плотины Медео. На основании анализа следов, оставленных селевым потоком на траве, и отложений мелкой фракции перед габионной плотиной, можно утверж-

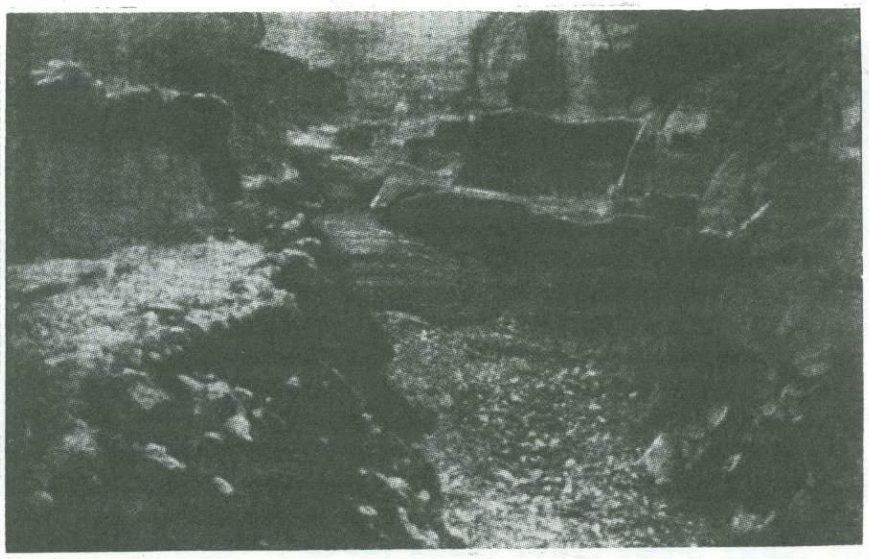


Рис. 3.5. Связный селевой поток на Усойском завале, Памир, Таджикистан. Скорость на пологой части русла 1 м/с (фото А.М. Лехатинова)

дать, что селевой поток на участке от озера до указанной плотины был несвязным. Перед габионной плотиной практически отложился весь крупнообломочный материал, влекомый селевым потоком, а вниз в долину были вынесены только мелкие фракции. Через габионную плотину протекал водный поток с небольшим содержанием твердой фазы. Ниже габионной плотины водный поток вновь стал обогащаться твердой фазой за счет размыва флювиогляциальных, ледниковых и аллювиальных отложений. На основании анализа следов грязевой части селевого потока можно предполагать, что от урочища Мынжилки до альпийского лагеря "Эдельвейс" вода в нем находилась в несвязном состоянии, а на участке ниже этого лагеря – в связном.

3. Проявление селевых процессов во времени

В последние годы в СССР выполнен большой объем работ по анализу проявления селевых процессов во времени, выявлению основных быстроизменяющихся факторов и установлению корреляционных связей между проявлением селей и факторами их обусловливающими. Составлены ряды проявления селей в различных районах Советского Союза. Наиболее длинные (до 90 лет) и наиболее полные ряды проявления селей оказалось возможным составить только для двух регионов интенсивного их развития – Средней Азии и Кавказа. Достоверные сведения о проявлении селей в Карпатах имеются только с 1927 г., а в Крыму – с 1933 г. По остальным регионам Советского Союза имеются только отрывочные данные об активизации селевых процессов.

При построении рядов проявления селей возникли трудности, которые обусловлены неодинаковой репрезентативностью разных частей рядов. Чем к более раннему периоду относятся данные о проявлении селей, тем они менее достоверны. В ходе работ было установлено, что даже в настоящее время, когда в Советском Союзе этому вопросу уделяется особое внимание и проводится специальный учет проявления селей, не все

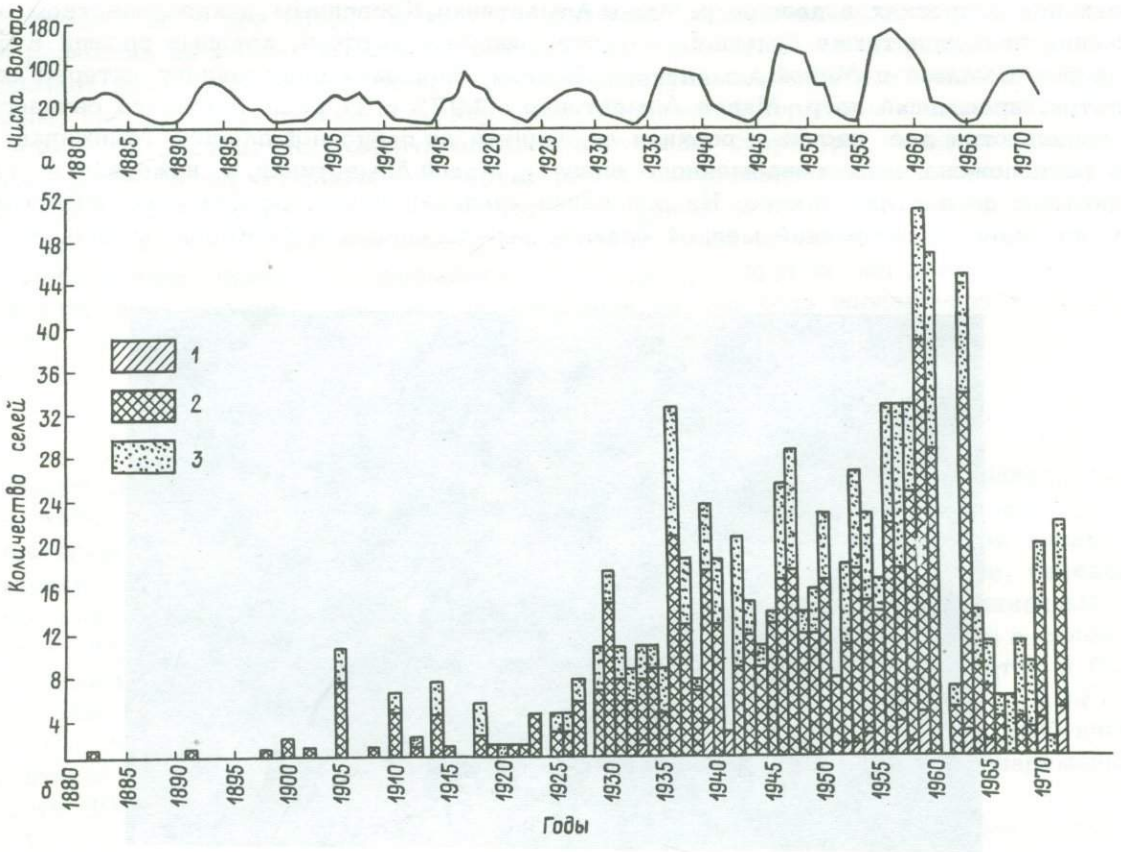


Рис. 3.6. График проявления селей в Армении. а – солнечная активность; б– проявление селей по зонам: 1 – низкогорье, 2 – среднегорье, 3 – высокогорье

случаи прохождения селей возможно учесть. В связи с этим на начальном этапе обработка и анализ временных рядов были выполнены простыми логически понятными методами, а затем были применены строгие математические методы. Оказалось, что результаты первых хорошо согласуются с результатами вторых. Это позволило прежде всего подтвердить выявленную более простыми и наглядными методами цикличность в проявлении селей, а также выявить корреляционные связи активизации селевых процессов с различными природными явлениями (солнечной активностью, различными типами макроформ атмосферной циркуляции, количеством атмосферных осадков). Результаты этих исследований детально рассмотрены в монографии А.И. Шеко [21]. В этой главе изложены только основные положения.

Сопоставление рядов проявления селей с числами Вольфа показало, что для одних районов Кавказа (Армения, Северный Кавказ и др.) годы экстремального проявления селей больше приурочены или тяготеют к годам максимума солнечной активности, а для большинства районов Средней Азии и Восточного Кавказа, наоборот, годы экстремального проявления селей приурочены или тяготеют к годам наименьшей солнечной активности. Например, в Армении экстремумы селей наблюдались в годы (рис. 3.6): 1905, 1908, 1927, 1936, 1939–1940, 1946–1947, 1959–1960 (тяготеющие к максимумам 11-летнего солнечного цикла) и 1910, 1914, 1930, 1942, 1953, 1963 (тяготеющие к минимумам того же цикла). Экстремальные проявления селей для ряда районов Средней Азии (СССР) в целом (рис. 3.7) имели место в следующие

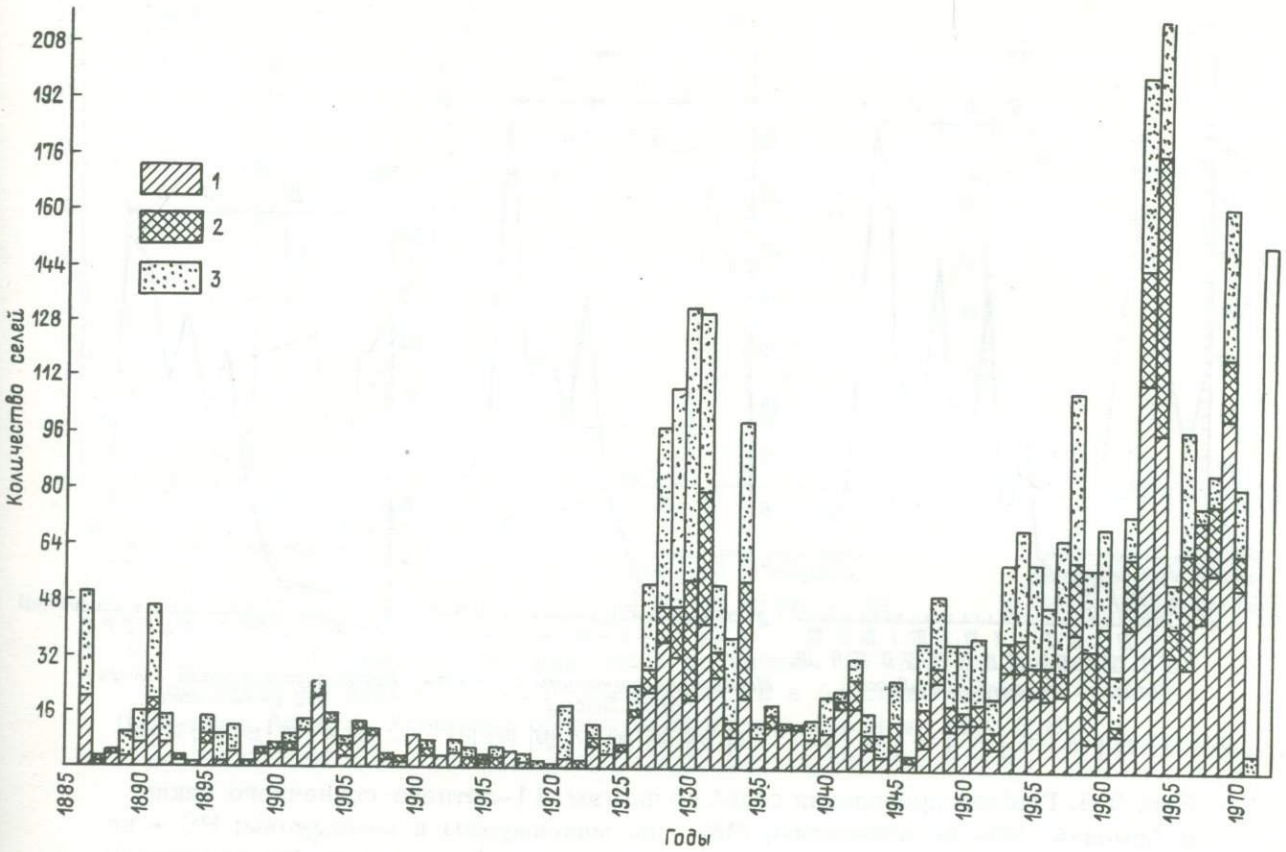


Рис. 3.7. График проявления селей в Средней Азии. 1 – низкогорье, 2 – среднегорье, 3 – высокогорье.

годы: 1886, 1891, 1895, 1897, 1903, 1921, 1931, 1934, 1942, 1945, 1954, 1963–1964, 1966 (годы слабой солнечной активности) и 1948, 1958, 1969, 1972 (годы сильной солнечной активности).

Таким образом, в первом примере (Армения) в 7 случаях экстремумы приурочены к годам сильной солнечной активности и в 6 случаях – к годам слабой солнечной активности, а во втором примере (Средняя Азия) соответственно – в 4 и 12 случаях. Для установления более четкой зависимости проявления селей от солнечной активности и выявления цикличности в проявлении селей были построены графики среднегодовой частоты селей по частям 11 – летнего солнечного цикла: а) по четвертям (ЧА); по максимумам – минимумам (ММ) и в) по ветвям роста и спада (РС). Методика анализа рядов по частям 11-летнего солнечного цикла изложена во второй части данной монографии.

На основании анализа графиков проявления селей по частям 11-летнего солнечного цикла выделены циклы разных порядков:

а) мелкие циклы I порядка внутри 11-летнего цикла, к этому порядку отнесены также мелкие циклы, максимумы которых находятся в соседних 11-летних циклах, но разделены по времени одной четвертью, продолжительность их в среднем равна 5–6 лет, но может изменяться от 4–6 до 7–8 лет;

б) циклы II порядка, максимумы которых лежат в соседних 11-летних солнечных циклах, разделенные между собой временем, продолжительностью более одной четверти 11-летнего цикла; продолжительность этих циклов изменяется от 7–8 до 15–16 лет; в среднем она составляет 10–11 лет;

в) циклы III порядка, максимумы которых разделены одним полным 11-летним солнечным циклом; продолжительность их в большинстве случаев равна 20–22 годам;

г) циклы IV порядка, максимумы которых разделены двумя полными 11-летними солнечными циклами; продолжительность их может изменяться от 24–26 до 31 – 32 лет;

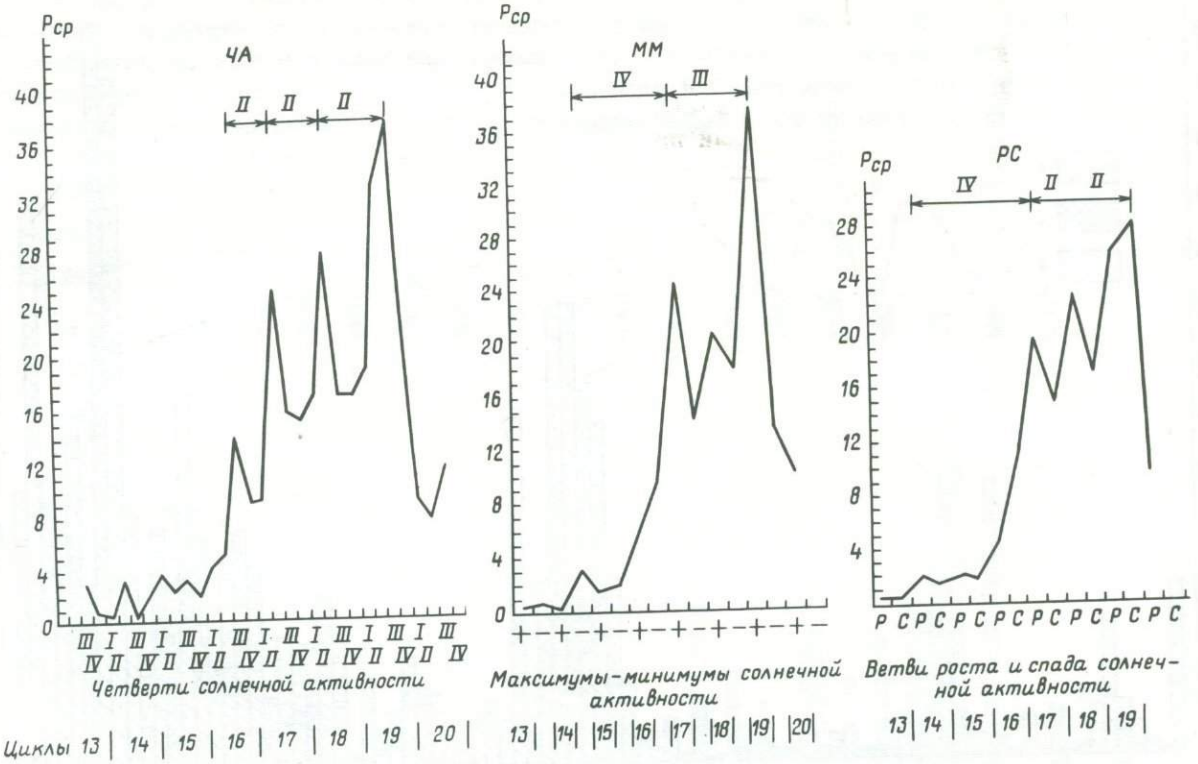


Рис. 3.8. Графики проявления селей по частям 11-летнего солнечного цикла в Армении. ЧА- по четвертям; ММ - по максимумам и минимумам; РС - по ветвям роста и спада; Pср - среднегодовое количество селей. Римскими цифрами показаны четверти циклов, а арабскими - номера 11 - летних солнечных циклов.

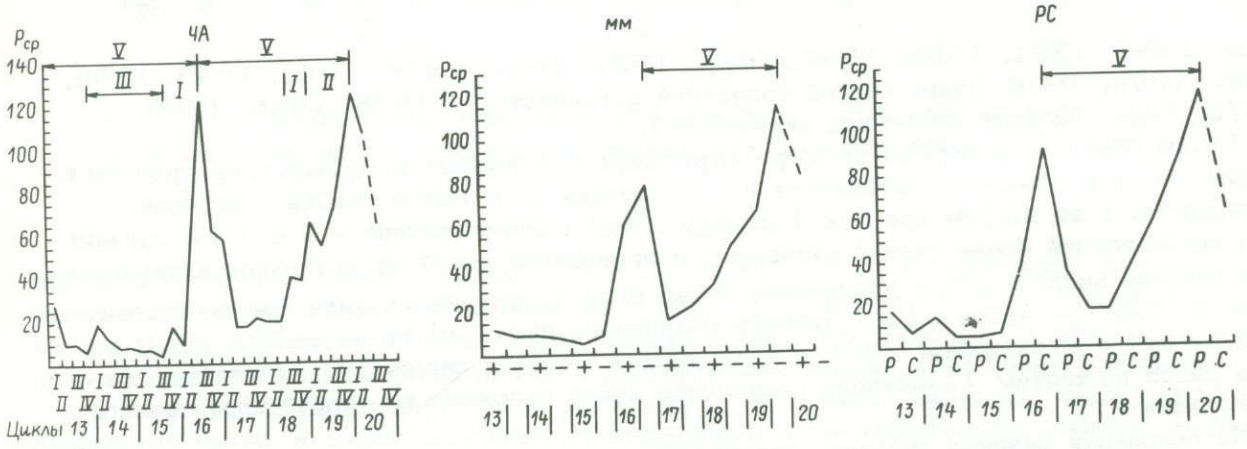


Рис. 3.9. Графики проявления селей по частям 11-летнего солнечного цикла для Средней Азии (в целом). Условные обозначения те же, что и на рис. 3.8.

д) циклы V порядка, максимумы которых разделены тремя полными 11-летними солнечными циклами; их продолжительность, видимо, 35 - 40 лет.

Анализ автокорреляционных функций позволил подтвердить наличие цикличности в проявлении селей, определить существенные гармоники и их параметры. Периоды наиболее существенных гармоник равны: 5-6, 10-13 и 30 лет. На рис. 3.8-3.10 приведены в качестве примеров графики проявления селей по частям 11-летнего солнечного цикла для Армянской ССР, Средней Азии (в целом) и правобережья р. Сырдарьи, СССР. В Армении из 8 экстремумов к первой четверти приурочен один,

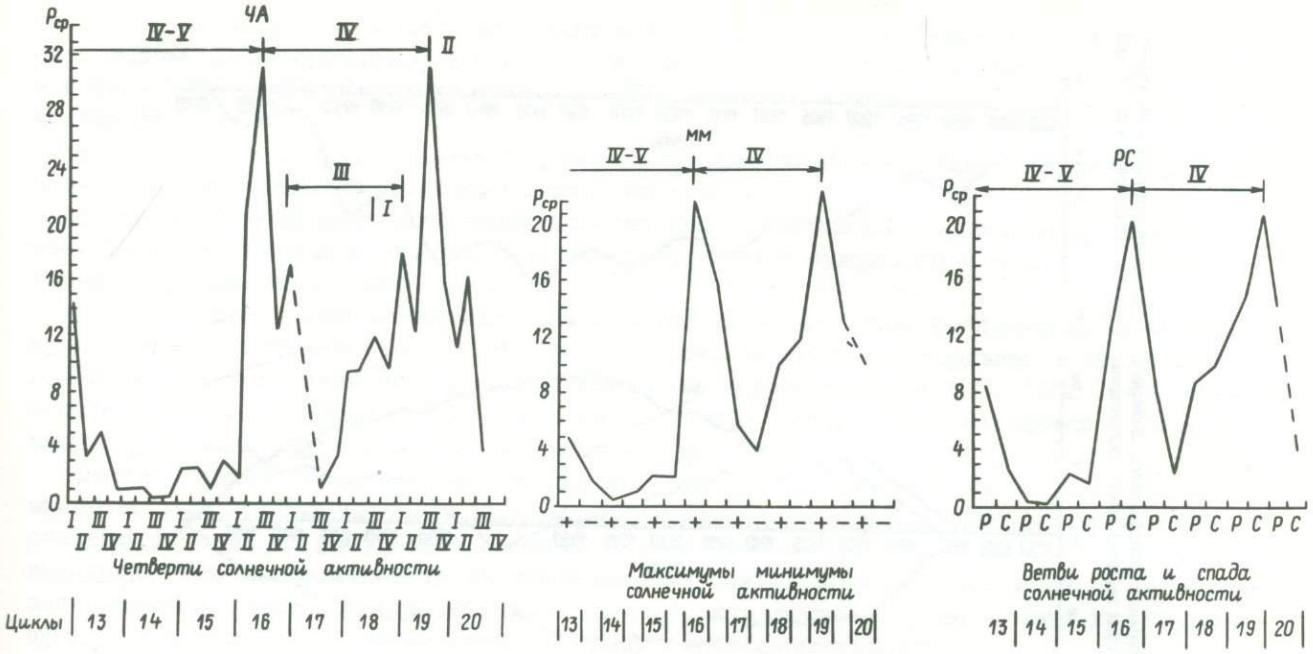


Рис. 3.10. Графики проявления селей по частям 11-летнего солнечного цикла на правобережье р. Сырдарьи и в бассейне Нарына (Средняя Азия). Условные обозначения те же, что и на рис. 3.8.

ко второй - три, к третьей - четыре. На Северном Кавказе наиболее сильная активизация селевых процессов также наблюдается в эпохи максимумов солнечной активности. С начала века до третьей четверти 19-го солнечного цикла идет увеличение активности селевого процесса, затем активность резко падает. Аналогичная картина наблюдается для Кавказа в целом и для других районов.

На южном склоне Главного Кавказского хребта, в пределах Азербайджана, наиболее сильная активизация селевых процессов приурочена к эпохам минимумов 11-летнего солнечного цикла. Из 12 экстремумов в первой четверти было 4, во второй - 4, в третьей - 1, в четвертой - 3. В Средней Азии (в целом) характер распределения среднегодовой частоты селей иной (рис. 3.10). На графиках наиболее четко выражены два максимума: первый приурочен к 16-му и началу 17-го солнечных циклов с пиком в III четверти 16-го цикла. Второй максимум охватывает полностью 19-й и начало 20-го цикла. Экстремумы обоих максимумов на графиках ММ приурочены к эпохам минимума 11-летнего солнечного цикла. На графиках среднегодовой частоты проявления селей по частям 11-летнего солнечного цикла для правобережья р. Сырдарьи также выделяются два экстремума, которые приурочены к третьим четвертям 16-го и 19-го циклов. В Карпатах более сильная активизация имела место в эпохи минимумов солнечной активности.

Сопоставление интегральных кривых аномалий проявления селей в разных районах Средней Азии и Кавказа с солнечной активностью, выраженной в числах Вольфа (рис. 3.11), позволило установить, что ход этих кривых в самом общем виде аналогичен. Однако к эпохе векового минимума на интегральной кривой аномалий чисел Вольфа приурочены небольшие максимумы аномалий проявления селей. Наиболее четко эти аномалии выражены на кривых для районов Средней Азии. Экстремумы аномалий

5386

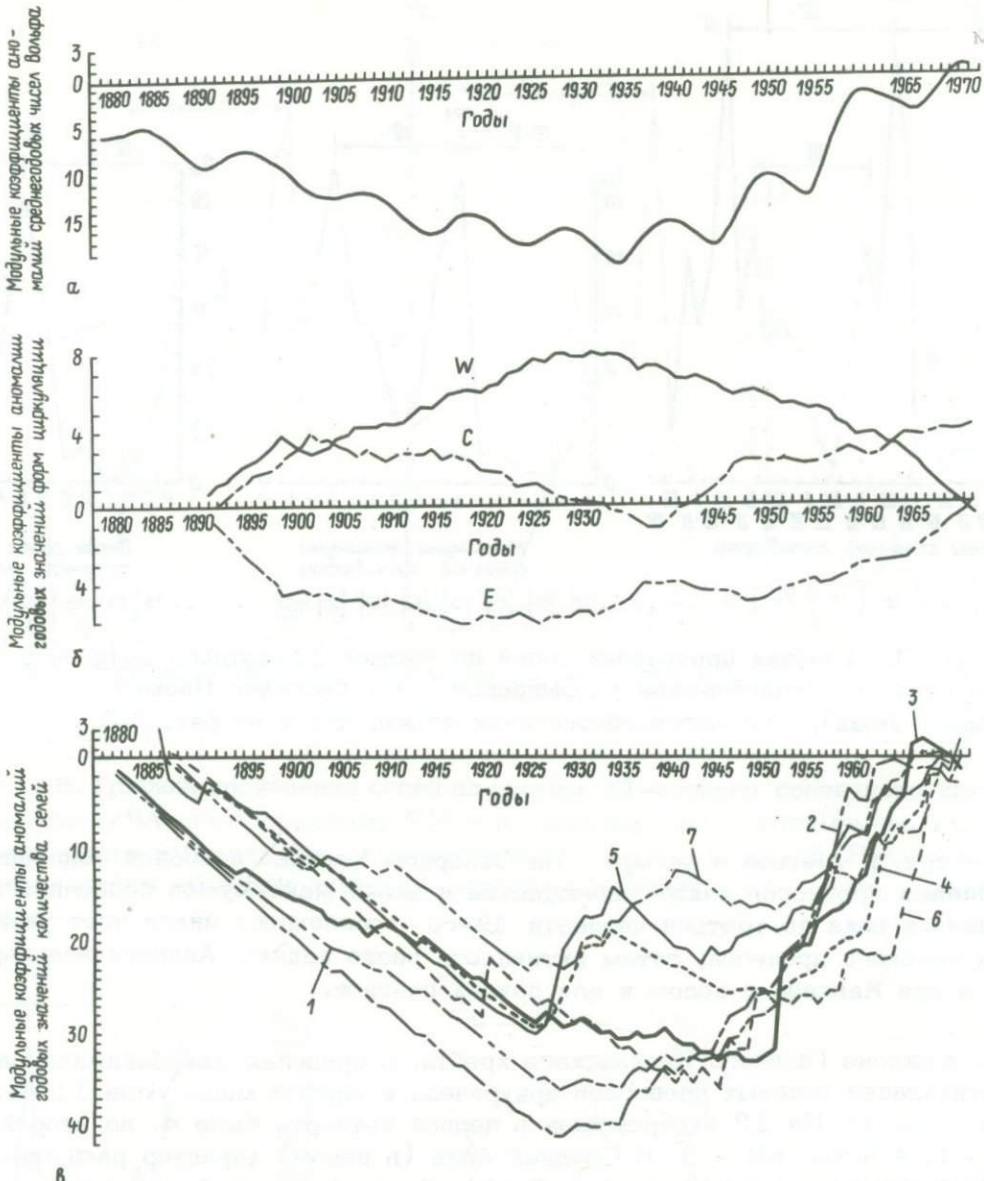


Рис. 3.11. Интегральные кривые аномалий солнечной активности в числах Вольфа (а), макроформ атмосферной циркуляции по Вангенгейму (б) и годового количества селей в разных регионах (в) 1 – Кавказ (в целом); 2 – Армения; 3 – Кавказ (без Армении); 4 – Средняя Азия (в целом); 5 – правобережье р. Сырдарьи и бассейн Нарына, 6 – Заилийский Алатау; 7 – Копет-Даг.

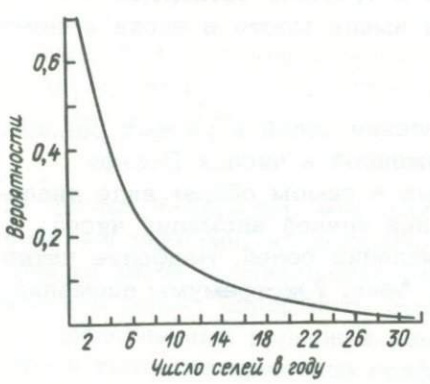


Рис. 3.12. График вероятностей проявления селей в Копетдаге.

проявления селей в Туркмении, Армении, на Кавказе (в целом) несколько сдвинуты вправо по отношению к вековому минимуму аномалий чисел Вольфа. Определение основных статистических характеристик показало, что проявление селей во времени подчиняется экспоненциальному (показательному) закону распределения (рис. 3.12). В результате корреляционного анализа установлено наличие достоверных связей между числом селей в году в данном районе, с одной стороны, и солнечной активностью, выраженной в числах Вольфа и различными типами макроформ атмосферной циркуляции по Вангенгейму – Гирсу и Дзердзеевскому, – с другой. При уровне значимости до 5% коэффициенты корреляции между числом селей в году и числом дней с типами макроформ атмосферной циркуляции E и W (по Ванген-

гейму) в большинстве случаев изменяется от 0,30 до 0,50. Прямая связь наблюдается с типом *E* и обратная–с типом *W*. Коэффициенты корреляции между числом селей в году и числом Вольфа не превышают 0,52. Слабая теснота связей может быть объяснена тем, что:

а) типизация макроформ атмосферной циркуляции по Вангенгейму – Гирсу грубо отражает особенности гидрометеорологических условий;

б) применяемый математический аппарат для установления связей между проявлением селей и солнечной активностью не совершенен и нуждается в доработке применительно к рядам проявления селей.

Более тесные связи наблюдаются между проявлением селей и элементарными циркуляционными механизмами (ЭЦМ) по Б.Д. Дзердзеевскому. Например, в бассейне р. Риони (Кавказ) наиболее часто проявление селей связано с ЭЦМ: 12а (34% случаев), 3 (33%) и 13л (19%). Всего на долю этих типов ЭЦМ приходится 86% всех зафиксированных случаев проявления селей в этом бассейне.

Важным показателем активности селевых процессов в данном селеносном бассейне является межселевой интервал, т.е. время между прохождением двух последовательных селевых потоков. В результате анализа межселевых интервалов в селевых бассейнах выявлено, что закономерности их изменения находятся в тесной зависимости от активизации селей в данном районе. В эпохи сильной активности эти интервалы имеют меньшую, а в эпохи слабой активности – большую продолжительность.

Литература

1. Богданович К.И. Два пересечения Главного Кавказского хребта. Тр. Геолкома. 1902, Т.19. № 1, с. 1–166.
2. Боголюбова И.В. Селевые потоки и их распространение на территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1957, 152 с.
3. Великанов М.А. Гидрогеология суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1964, 403 с.
4. Гагошидзе М.С. Селевые явления и борьба с ними. Тбилиси: Сабчота Сакартвело, 1970, 384 с.
5. Дюрнбаум Н.С. Защита населенных мест от селевых (грязекаменных) потоков. М.–Л.: изд–во МКХ РСФСР, 1949, 176 с.
6. Комлев А.М. Селевые паводки в Заполярье. "Метеорология и гидрология". 1957, № 12, с. 31–32.
7. Круподеров В.С. Изучение размываемости глинисто–обломочных пород (на примере четвертичных отложений р. Шинг Таджикской ССР). Автореф. канд. дис. геол.–мин. наук. М.: Изд–во МГУ 1974, 26 с.
8. Леонтьев Л.Н. Причины селевой активности Закатало–Нухинского участка Большого Кавказа. Труды Аз. НИИГиМ, 1949, т.1, с. 91–100.
9. Методическое руководство по изучению селевых потоков. Л.: Гидрометеоиздат, 1976, 144 с.
10. Методическое руководство по комплексному изучению селей. Ред. М.В. Чуринов, А.И. Шеко. М.: Недра, 1971, 164 с.
11. Неймайр М. История Земли. Т.1., СПб, 1904, 762 с.
12. Непорожний Т.С. Защита гидроэлектростанций от селевых потоков. М.–Л.: Госэнергоиздат, 1947, 167 с.
13. Рустамов С.Г. Селевые потоки в Азербайджане. Труды ИГАН Аз. ССР, 1957, № 7, с. 249–275
14. Садов А.В. Аэрометоды изучения селей. М.: Недра, 1972, 126 с.
15. Селевые потоки. Ред. Ю.Б. Виноградов, Т.Л. Киренская. М.: Гидрометеоиздат, 1976, Сб. 1, 246 с.
16. Селеопасные районы Советского Союза. Ред. С.М. Флейшман, В.Ф. Перов. М.: изд–во МГУ, 1976, 308 с.
17. Сели в СССР и меры борьбы с ними. М.: Наука, 1964, 142 с.
18. Соколовский Д.Л. Речной сток. Л.: Гидрометеоиздат, 1968, 539 с.
19. Флейшман С.М. Сели. Л.: Гидрометеоиздат, 1970, 352 с.

5386

20. Цован М.В. Селевые явления на территории Армянской ССР. "Борьба с горн. эрозией почв и селев. потоками в СССР". Ташкент: 1962, с. 239-246.

21. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. М.: Недра, 1980, 296 с.

22. Biazer J., Azimi Ch., Desvarreu P. Etude des risques de formation des coulees bounses. Symposium national sur soil of sousol et securite de construction, Cannes, Marseil, 1973, vol.1, p. 37–46

23. Frech Ueber Muren. Zeitchr. d.deutsch. u. Alpen Vereins, B.29, 1898 p.

24. Toni J. On the Debris flow. Water science, №60, 1968, p. 106–126

25. Surell A. Etudes sur les torents des Hautes Alpes. Paris, 1848 p.

ЧАСТЬ II

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ

Глава 4

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение оползней и селей необходимо при решении всего круга инженерно-геологических задач: при оценке условий строительства, обосновании рационального использования геологической среды, разработке мер по охране окружающей среды и входит в комплекс исследований, выполняемых, как правило, при всех основных направлениях инженерно-геологических работ (рис. 4.1). Исключение составляют работы, проводимые на территориях, где развитие оползней и селей практически невозможно.

С точки зрения изучения процессов все инженерно-геологические работы по их целенаправленности следует разделить на: работы по изучению инженерно-геологических условий в целом, включая развитие оползней и селей как элементы этих условий, и работы по самостоятельному изучению процессов, когда инженерно-геологические условия рассматриваются как факторы, определяющие развитие процессов. При этом цель работ будет определять круг решаемых задач, структуру исследований и комплекс используемых методов.

В настоящей главе и далее особенности изучения оползней и селей рассматриваются применительно к специализированным работам по экзогенным геологическим процессам, так как в этих случаях изучение оползней и селей проводится, как правило, более детально, чем при инженерно-геологических работах общего характера.

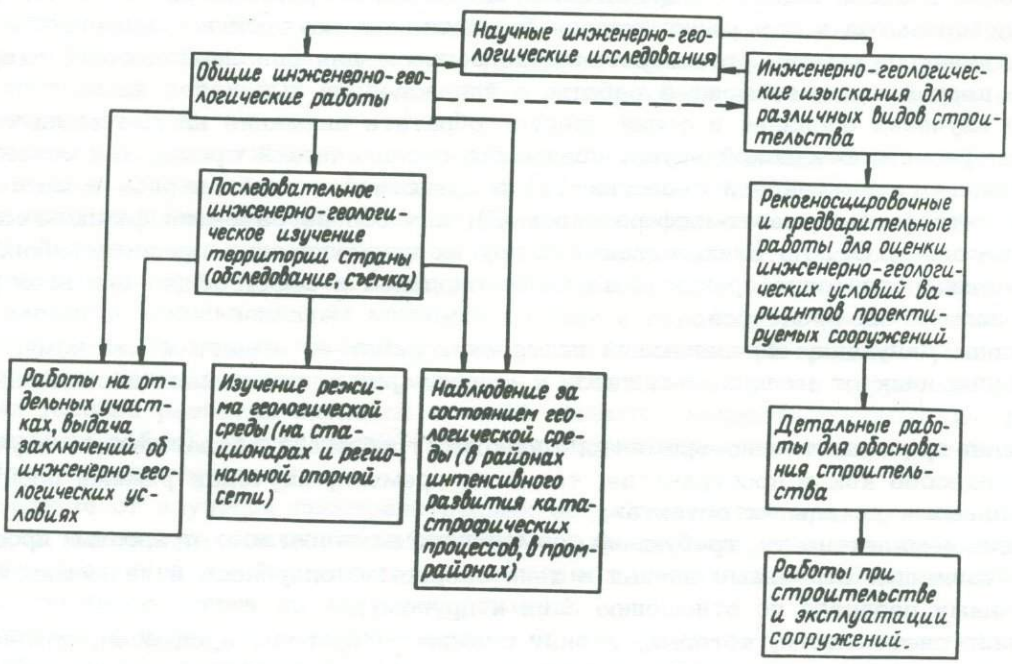


Рис. 4.1. Основные направления инженерно-геологических работ

Целью изучения оползней и селей в большинстве случаев является их прогноз. Так, при инженерно-геологических съемках одна из решаемых задач - прогноз изменения инженерно-геологических условий изучаемой территории [5], инженерно-геологические изыскания также должны обеспечивать "составление прогноза изменений инженерно-геологических и гидрогеологических условий", что в СССР предусмотрено строительными нормами и правилами. При этом прогноз оползней и селей будет составной частью прогноза инженерно-геологических условий. Для территорий с интенсивным развитием оползней и селей разработка их прогноза может быть самостоятельной целью работ, и по их результатам составляются различные прогнозы (временные, пространственные и другие - ч. III). Если на таких территориях организуется регулярное наблюдение за процессами и постоянное уточнение их прогнозов, то на этой основе возможно создание мониторинга ЭГП (который следует рассматривать как подсистему мониторинга геологической среды). В ряде случаев прогноз процессов конкретизируется. Например, целью изучения оползней и селей могут быть расчеты параметров устойчивости или движения массы пород или обоснование противооползневых и противоселевых мероприятий.

Не продолжая перечисление различных случаев изучения оползней и селей, можно заключить, что выполнение этих работ без оценки или предсказания развития процессов в большинстве случаев не имеет практического смысла, это соображение справедливо и для других геологических процессов. При изучении оползней и селей решается широкий круг вопросов, однако среди них можно выделить ряд задач, повторяющихся при многих исследованиях: изучение проявлений процессов; классификация и типизация процессов; изучение механизма процессов; изучение условий развития процессов; изучение причин активизации процессов; оценка влияния деятельности человека на развитие процессов, учет ущерба, причиняемого проявлениями процессов.

Изучение оползней и селей осуществляется на двух уровнях: региональном и локальном, которым свойственна собственная целенаправленность, определяющая их методические особенности. Региональные работы проводятся с целью изучения геологической среды и ее элементов, когда их изменчивость имеет пространственную обусловленность. Локальные работы проводятся с целью изучения геологической среды и ее элементов, когда их пространственная изменчивость незначительна или не представляет интереса.

Постановка задач и логика исследований, структура работ и применяемые методы при изучении оползней и селей основываются на теории и методологии инженерно-геологической науки, ее раздела по инженерной геодинамике. Теоретическими основами изучения оползней и селей являются представления о закономерностях их развития, которые постоянно пополняются и совершенствуются в результате научных исследований и обобщений практического опыта. Эти теоретические вопросы для оползней и селей охарактеризованы в первой части настоящей работы.

В свете изучения оползней и селей следует обратить внимание на два важных положения инженерно-геологической науки: понимание геологической среды, как основного объекта изучения в инженерной геологии [1] и представление об энерго- и массообмене в системах литосфера-почва-атмосфера (космос), как основе развития физико-геологических процессов [10]. На этих, а также и других теоретических представлениях основываются методологические принципы изучения оползней и селей общие для всех экзогенных геологических процессов:

а) принцип дедукции, определяющий построение работ от общего к частному, переход в исследованиях от мелких масштабов к крупным, от региональных исследований к локальным;

б) принцип пространственно-временного подхода, требующий обязательного изучения развития процессов как в пространстве, так и во времени, изучения режима процессов на региональных и локальных объектах;

в) принцип комплексности, требующий совместного изучения всех природных процессов, представляющих отдельные звенья в цепи энергомассопереноса и являющихся главными причинами развития по отношению один к другому;

г) принцип системности, который, в виду сложности природы процессов, предполагает рассмотрение их и условий их развития как систем разного ранга, в зависимости от решаемых задач;

д) принцип целенаправленности, согласно которому характер исследований процессов, их структура и комплекс используемых методов определяется целью работ.

При изучении оползней и селей усилия исследователей сосредотачиваются, в первую очередь, на познании закономерностей развития процессов, а в зависимости от задач и характера исследований внимание к ним будет дифференцировано. Закономерности развития ЭГП могут рассматриваться в трех аспектах: общефизическом, пространственном и временном. Общефизические закономерности отражают природу и механизм процессов, скорость их развития, разделение на этапы (стадии), виды и характер взаимодействия с окружающей средой, причины активизаций. Пространственные закономерности характеризуют зависимости распространения процессов по территории, их интенсивность от геологических, геоморфологических и других природных условий, взаимосвязь с ними, проявления процессов в различных регионах. Временные закономерности отражают особенности развития процессов в различные временные периоды их режима, периодичность (цикличность, ритмичность) активизаций, тенденции развития.

Общефизические закономерности ЭГП определяются, в первую очередь, их энергетической природой и средой развития. При энергомассопереносе ведущая роль в активизации ЭГП принадлежит влаге (воде) и теплу, для ряда процессов - эндогенным воздействиям. Развитие некоторых процессов без тепла и влаги вообще невозможно, а для многих ЭГП интенсивность их воздействия определяет интенсивность развития. Так, формирование селевых потоков без воды невозможно, а для гляциальных селей, образующихся при таянии ледников, определяющим фактором при зарождении будет тепловое воздействие. Для развития оползней влияние воды и тепла также имеют очень большое значение, хотя взаимосвязи между этими воздействиями и проявлениями процесса обычно более сложные, чем у селей.

Интенсивность тепло- и влагообмена между литосферой и другими природными сферами, в основном, определяется климатическими условиями. Поэтому и при региональных, и при локальных исследованиях ЭГП важное значение имеет изученность климатических условий. "Возникновение ряда геологических процессов, формирование поверхностных отложений и рельефа прямо или косвенно зависит от климатических условий. Эта зависимость непосредственно видна в закономерностях распространения ряда современных экзодинамических процессов" [7]. Методика климатических исследований, их направленность при изучении ЭГП активно разрабатываются в последние годы. Наиболее подробно она отражена в работах А.И. Шеко [9]. Им предложена методика анализа климатических условий и их связи с активизацией селей, оползней и других ЭГП, которая хорошо себя оправдала при прогнозе процессов.

Изучение общефизических закономерностей развития оползней и селей характерно для региональных и локальных исследований, однако при локальных возможности для него больше. Именно при локальных исследованиях изучается механизм процессов, требующий постановки детальных исследований с использованием точных геодезических и геофизических методов.

Изучение пространственных закономерностей развития оползней и селей свойственно региональным исследованиям. Методика их достаточно хорошо отработана [5, 4]. В зависимости от цели, площади и масштаба исследований они осуществляются по всей изучаемой территории или посредством комплексирования детальных работ на ключевых участках с авиа- и наземными маршрутами по территории. Полнота изучения территории обеспечивается использованием космофотосъемки и аэро- фотосъемки по всей исследуемой территории. Изучение пространственных закономерностей процессов позволяет решать одну из важных задач их прогноза - установление границ территорий, в пределах которых условия развития оползней и селей являются квазиоднородными (в соответствии с масштабом работ). Методически это осуществляется путем инженерно-геологического районирования территории.

В отличие от изучения пространственных закономерностей при изучении временных требуется постановка режимных наблюдений за процессами, что, как правило, выходит по времени за пределы большинства региональных и локальных исследований (за исключением собственно работ по изучению режима).

Потребность в данных о режиме процессов возникает почти при всех исследованиях оползней и селей, поскольку они позволяют судить о периодичности (цикличности, ритмичности) процессов и обеспечивают разработку временного прогноза.

Накопленный в последние годы опыт позволяет, в ряде случаев, осуществлять раз-

работку временного прогноза оползней и селей без постановки работ по изучению их режима. Это представляется возможным при хорошем изучении закономерностей развития процессов с применением комплекса исследований, характеризующих временные закономерности, включающего в себя: анализ материалов, сравнительное дешифрирование аэрофотоснимков залетов разных лет; анализ топографических карт разных лет (для процессов, вызывающих заметные изменения в рельефе); опрос населения; дендрохронологический анализ; анализ рядов гидрометеорологических данных; корреляцию данных о процессах с данными о факторах их развития.

Анализ опубликованных материалов и архивных данных. Анализ опубликованных материалов широко распространен при различных инженерно-геологических исследованиях. Но он может быть существенно дополнен и уточнен при использовании исторических хроник, летописей, дневников и мемуаров. Аналогичный положительный опыт продемонстрирован сейсмологами и гляциологами.

Сравнительное дешифрирование аэрофотоснимков. При наличии аэрофотоснимков разных лет на одну и ту же территорию представляется возможным при сопоставлении их получить качественные и количественные характеристики развития оползней и селей. Если аэрофотоснимки относятся к трем и более залетам с продолжительными интервалами между ними, то по ним с определенной степенью достоверности можно судить о тенденции в развитии процессов на современном этапе. Необходима увязка этих выводов с климатическими тенденциями.

Анализ топокарт разных лет. Эти исследования подобны сопоставлению аэрофотоснимков, но при анализе карт представляется возможность судить только о тех проявлениях процессов, которые вызывают заметные изменения в рельефе.

Дендрохронологический анализ. Он основан на изучении изменений, происходящих с растительностью при развитии ЭГП. Они проявляются через возрастные, морфоанатомические и дендрометрические характеристики растений на участках активизаций процессов и их сохранность или изменяемость с течением времени. Разработанная методика позволяет в этих случаях по набору или отдельным признакам судить о сроках и масштабах активизации процессов. Наиболее достоверные результаты получаются при изучении селей, оползней, лавин, эрозии и заболачивания.

Опрос населения. Этот способ получения информации о процессах относителен по своей достоверности. Однако и он может давать хорошие результаты. Наиболее точные сведения, как правило, сообщаются о крупных, катастрофических проявлениях процессов, даже если они происходили давно, и о тех, которые по срокам совпали с каким-либо другим примечательным событием. Опрос должен носить массовый характер, а ответы восприниматься критически.

Анализ рядов гидрометеорологических факторов. Он проводится по материалам гидрометеорологических станций. С увеличением длины рядов наблюдений точность результатов повышается. Методика его достаточно разработана и основана на гармоническом анализе временных рядов.

Корреляция данных о процессах. Представляет собой использование методов математического анализа для установления тесноты связи между проявлениями оползней и селей и воздействиями на них различных факторов с целью выявления их роли и разграничения территорий по условиям, определяющим развитие этих процессов. Использование перечисленных методов исследований позволяет изучать временные закономерности развития оползней и селей.

Общей методической особенностью всех видов изучения оползней и селей является исследование их взаимодействия с инженерными сооружениями. В сфере взаимодействия сооружений с горными породами возможно развитие этих процессов при техногенных воздействиях. В связи с этим при изучении оползней и селей проводится обследование инженерных сооружений, дается оценка степени их подверженности воздействию этих процессов и возможности их активации или развития новых проявлений техногенного происхождения. Методика изучения оползней и селей изложена во многих работах, наиболее полно она охарактеризована в ряде из них [4, 3, 13, 8, 6, 9].

Результаты изучения оползней и селей представляются в текстовой и графической форме. К первой относятся отчеты, заключения, объяснительные записки к картам, ко второй – различные виды инженерно-геологических карт. Помимо общих инженерно-геологических карт, на которых в комплексе с другими инженерно-геологическими усло-

виями отражаются данные об ЭГП, при изучении процессов составляются специальные карты, характеризующие различные аспекты развития оползней и селей: факторы, интенсивность, динамику, активность, элементы прогноза и другие. В зависимости от цели исследований меняется содержание и масштаб карт, количество и качество информации о процессах. При региональных исследованиях картирование ведется в масштабе 1:200 000 - 1:100 000, для крупных территорий возможен масштаб 1:500 000 при локальных исследованиях масштаб картирования 1:25 000 и крупнее.

В разных странах составляется множество различных карт оползней и селей [Д.Д.Варнес, 1981]. По содержанию их целесообразно разделять на карты условий, районирования и прогноза. Карты условий содержат информацию о проявлении оползней и селей и факторах (некоторых или всех), определяющих развитие этих процессов, с качественной или количественной оценкой [4]. На картах районирования выделяются территории с более или менее одинаковыми (квазиоднородными) условиями развития оползней и селей, дается их типизация или оценка (качественная или количественная) по различным показателям развития процесса, степени "устойчивости" территории. К таким картам относятся карты пораженности территории процессами [4], геодинамического (оползневого) потенциала [2], риска [12], оползневой уязвимости территории [11], устойчивости склонов [14] и другие.

Карты прогноза обычно строятся на основе анализа карт условий и районирования и отражают информацию о будущем проявлении процессов [9]. В зависимости от характера прогноза (временной, пространственный и т.д.) на них, в соответствии с предсказаниями, содержится информация о местах, сроках и характере будущих проявлений процессов. К прогнозным картам следует также отнести карты подверженности процессам отдельных сооружений и объектов [4].

Информация, содержащаяся в отчетах, заключениях и объяснительных записках к картам, дополняет сведения, отраженные на картах, материалами и выводами, не показанными графически.

Литература

1. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1981, 255 с.

2. Гулакян К.А., Кюнтцель В.В., Постоев Г.П. Прогнозирование оползневых процессов. М.: Недра, 1977, 135 с.

3. Изучение режима оползневых процессов. М.: Недра, 1982, 255 с.

4. Методические рекомендации по проведению специального инженерно-геологического обследования территории. ВСЕГИНГЕО, 1982, 64 с.

5. Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200000. М.: Недра, 1978, 391 с.

6. Методическое руководство по комплексному изучению селей. М.: Недра, 1971, 164 с.

7. Попов И.В. Инженерная геология СССР, ч. 1. М.: Изд-во МГУ, 1961, 178 с.

8. Тер-Степанян Г.И. Новые методы изучения оползней. Ереван, изд-во АН Армянской ССР, 1978, 152 с.

9. Шеко А.И. Закономерности и прогноз селей. М.: Недра, 1980, 296 с.

10. Швецов П.Ф. Геотермические условия мезозойско-кайнозойских нефтеносных бассейнов. М.: Наука, 1974. 131 с.

11. Brabb E.E., Parnpeyan E.H. Preliminary map of landslide depozits in San Mateo Country, California: U.S. Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map MF-360, scale 1:62, 1972,500

12. Humbert M., Les risques geologiques dans la legislation actuelle. Bilan et perspective. Rapp inedit. BRGM Orleans, France, № 80 SGN 584 GEG, aout. 1980

13. Landslides. Analysis and Control. Special Report 176. Washington, D.C., National academy of sciences, 1978

14. Malgot J., Baliak F., Cabalova D., Mahr T., Nemcok A. Mapa Svohovych deformacil Handlovskey kotliny. A. Zakladna mapa. B. Mapa ingeniersko-geologickeho rajonovania, 1973

5386

Глава 5

РЕГИОНАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ

1. Общие положения

Региональное изучение оползней и селей чаще всего проводится с целью выявления пространственной изменчивости их проявлений и развития, оценки устойчивости территории (уязвимости, риска) или регионального прогноза этих процессов.

Для решения поставленных задач в зависимости от изученности и сложности геологического строения территории, сроков, в которые необходимо провести исследования, стадий исследований и других обстоятельств применяются различные виды инженерно-геологических работ; как правило, - это инженерно-геологические обследования или инженерно-геологические съемки. Основное различие между ними заключается в комплексе применяемых методов исследований, детальности и глубинности исследований, объемах и сроках работ.

Инженерно-геологическое обследование [5] выполняется в более короткие сроки, с меньшим объемом и детальностью работ. В его состав, по сравнению с инженерно-геологической съемкой того же масштаба, не входят горно-проходческие и буровые работы, инженерно-геологическое опробование пород, очень ограниченно могут применяться геофизические методы. Основу работ составляет сплошное изучение территории на основе ландшафтно-индикационных и космоаэрометодов [1,8] и изучение проявлений оползней и селей (ЭГП) по литературе, космоаэрофотоснимкам и в натуре при аэро- и наземных маршрутах. Инженерно-геологическая съемка [6] может включать в себя комплекс любых методов исследований и позволяет проводить изучение оползней и селей с большей детальностью, но в большие сроки, чем при инженерно-геологическом обследовании. Основой инженерно-геологической съемки является метод ключевых участков, при котором изучение территории (процессов) осуществляется посредством концентрации наземных полевых работ на предположительно типичных (ключевых) по инженерно-геологическим условиям участках и последующей экстраполяцией результатов их изучения на прилегающую территорию. Несмотря на различие работ по обследованию и съемке, их организация и построение во многом схожи. В их последовательности выделяются предполевой, полевой и камеральный периоды. В предполевой период проводится сбор, анализ и обобщение литературных и фондовых материалов по геологии, геоморфологии, тектонике, климату, физической географии, гидрогеологии, инженерной геологии и геокриологии (для криолитозоны). На основании этих данных вырабатываются представления о комплексах ЭГП, которые предстоит изучать, закономерностях их развития и их ландшафтных индикаторах. Собираются сведения о катастрофических проявлениях оползней и селей в прошлом и причиненном ими ущербе. Осуществляется предварительное дешифрирование космоаэрофотоснимков. Снимки залетов разных лет на одну и ту же территорию следует использовать для оценки динамики оползней и селей. Составляется предварительная схема (таблица) ландшафтных индикаторов и их дешифровочных признаков.

В результате изучения фондовых, литературных материалов и дешифрирования космоаэрофотоснимков составляются предварительная карта инженерно-геологических условий развития оползней или селей и схема их проявления. Намечаются аэровизуальные и наземные маршруты. При инженерно-геологической съемке рассчитываются и намечаются ключевые участки.

В полевой период выполняется основной объем работ, уточняются закономерности проявлений и развития оползней и селей, изучаются факторы, их определяющие, дается оценка степени подверженности воздействию процессов инженерных сооружений и объектов. Работы начинаются с аэровизуальных наблюдений, в процессе которых происходит доработка дешифровочных признаков и изучение района исследований в натуре. При этом уточняются предварительные карты, составленные на основании дешифрирования (они дополняются данными наблюдений), а также представления о пространственных закономерностях проявлений ЭГП, проводится предварительная оценка состояния гражданских и промышленных объектов, намечаются наземные маршруты. После завершения облетов выполняются наземные работы. Они проводятся по маршрутам, намечаемым в результате камерального дешифрирования и предусматривают исследования на наиболее интерес-

ных участках проявления оползней и селей, в первую очередь, с гражданскими и промышленными объектами, подверженными их воздействию. При этом проводится детальное изучение участков проявления ЭГП, которое включает в себя: уточнение представлений о геологическом строении и природных условиях территории: изучение обнажений горных пород; выявление ландшафтных индикаторов активности ЭГП и их изучение, изучение геокриологических условий (для криолитозоны), а также дендрохронологические и лихонометрические исследования с целью выявления признаков и сроков активизаций ЭГП в прошлом. Результаты исследований дополняются данными опроса местных жителей о катастрофических проявлениях геологических процессов.

При инженерно-геологической съемке на ключевых участках выполняются исследования, включающие: бурение скважин и проведение в этих скважинах термо-, электро- и гамма-каротажа, искиметрии, откачек, наливов, гидрогеологических наблюдений, а также отбор образцов, электрическое зондирование, сейсморазведку, ландшафтноиндикационные наблюдения и другие виды исследований в зависимости от решаемых задач. В заключение полевых работ могут быть проведены повторные, уточняющие облеты по выборочным маршрутам.

В камеральный период, после завершения полевых исследований, материалы окончательно обрабатываются. На этой стадии завершается анализ закономерностей развития оползней и селей, проводится математическая обработка результатов, инженерно-геологическое картирование и районирование, разрабатывается прогноз оползней и селей. По результатам работ составляются отчет и заключения по отдельным сооружениям и объектам.

Оползни и сели развиваются в различных природных условиях, определяющих их особенности. С точки зрения изучения этих процессов, в первую очередь, следует обратить внимание на горно-складчатые территории, которые по сравнению с платформенными более сложны для изучения, а разнообразие и пестрота инженерно-геологических условий в горно-складчатых районах сильно осложняют интерполяцию и экстраполяцию результатов исследований. Многие особенности строения территории и развития на ней оползней и селей определяются составом пород и геоморфологическими условиями. Изучение последних для горно-складчатых территорий является одной из главных задач. Оно должно проводиться с максимальной детальностью, включая изучение видов, форм и генезиса рельефа, зональных и структурных типов, морфометрических показателей, взаимосвязей с составом пород и развитием ЭГП.

Характерной чертой горно-складчатых территорий является сложность и изменчивость генезиса поверхностных отложений, повсеместное распространение грубообломочных пород, в которых развиваются основные взаимодействия ЭГП. Правильное определение генезиса, границ распространения, мощностей этих пород возможно только при тщательном рассмотрении геоморфологических условий их залегания. В горно-складчатых районах очень широко распространены тектонические нарушения. Они должны быть детально закартированы, так как с ними часто связано активное проявление процессов. Разломы обычно удается фиксировать при дешифрировании космоаэрофотоснимков и облетах. Иногда их обнаружению могут способствовать проявления ЭГП. В зонах нарушений чаще всего встречаются оползни и обвалы. К зонам тектонических нарушений могут быть приурочены завальные озера, широко распространенные в горах, прорыв которых может вызвать мощный селевой поток. Представляет опасность также внезапное обрушение в озеро оползневых масс пород с его бортов, способное вызвать перелив воды через плотину. Необходимо выявлять такие озера и давать оценку устойчивости завалов и бортов.

Активный характер развития ЭГП в горах быстро меняет картину их проявлений, внешние признаки которых могут легко уничтожаться денудацией, поэтому аэрофотоснимки даже при хорошей дешифрируемости в ряде случаев могут давать не точное представление о современном развитии процессов. Поэтому облеты в горах следует планировать на всю территорию. Они проводятся по долинам рек с последовательным осмотром всех притоков до самих верховьев, где могут зарождаться селевые потоки.

В горах с развитым оледенением ледники влияют на ЭГП, в связи с чем необходимо изучать их состояние и анализировать режим, должна также оцениваться устойчивость запруд ледниковых озер.

5386

Региональное изучение оползней и селей проводится одновременно и взаимосвязанно по трем основным направлениям: а) изучение территории (акватории) в целом; б) изучение склонов для оползней и речных бассейнов для селей; в) изучение участков проявления оползневого процесса и очагов зарождения селей. При этом инженерно-геологические исследования направлены на решение ряда задач и, в первую очередь, на установление мест развития оползневого и селевого процессов, изучение пространственных закономерностей их развития, оценку активности процессов и определение территорий возможного проявления процессов в будущем.

Эти задачи решаются на всех стадиях исследований в соответствии с возможностями применяемых методов изучения процессов и спецификой процессов. При этом ряд вопросов будет общим при изучении как оползней, так и селей. К ним относятся: а) характеристика пород исследуемого района (залегание, возраст, генезис, состав, свойства, состояние, в том числе обводненность); б) морфологическая и морфометрическая характеристика участков проявления процессов; в) характеристика форм проявления процесса, их параметров; г) оценка глубины (мощности) зоны развития процесса; д) изучение развития процесса во времени (возраст проявлений, периодичность активизаций, приуроченность активизаций к каким-либо периодам); е) оценка современной активности процесса; ж) характеристика факторов, вызывающих активизацию процессов; з) изучение взаимосвязи с другими ЭГП; и) изучение взаимодействий с инженерными сооружениями; к) выявление потенциально-опасных участков, признаков возможной активизации (на участках, где имеются проявления процессов и на соседних - без проявлений процессов).

2. Изучение оползней

Развитие оползневого процесса происходит на склонах и пространственно контролируется распространением деформирующихся пород. Этим элементам геологической среды уделяется наибольшее внимание при региональном изучении оползней.

Изучение территории (акватории). Оно проводится для выявления и регистрации всех проявлений процесса, изучения геологического строения территории и распространения деформирующихся горизонтов пород, в которых развиваются оползни, тектонических, геоморфологических, геокриологических (для криолитозоны) и климатических условий, их изменчивости в пространстве.

В развитии оползней большую роль играет геологическое строение территории. Характер залегания деформирующихся пород влияет на активность процесса, и важно знать, имеют ли они наклон и в какую сторону (соотношение со склонами) или залегают горизонтально. Необходимо определить положение деформирующихся горизонтов в разрезе и литологический состав перекрывающих и подстилающих их пород, так как они влияют на механизм и масштабы развития процесса. Известны, например, случаи оползневых смещений пород, вызванные суффозией в песках подстилающих деформирующийся горизонт [12]. Необходимо также установить количество вскрытых в разрезе деформирующихся горизонтов. Несколько вскрытых горизонтов могут обусловливать ярусное развитие оползней на склоне. Свойства пород при региональных исследованиях изучаются, как правило, ограниченно; в основном при инженерно-геологической съемке определяются классификационные показатели свойств пород.

Изучение тектонических условий направлено на определение принадлежности исследуемого региона к тектоническим структурам, их границ, исследование истории геологического развития территории, ее современной подвижности, сейсмичности, картирование и анализ разломов.

Изучение геоморфологических условий территории включает выделение морфоструктур, оценку горизонтального и вертикального расчленения рельефа, его крутизны, выделение отдельных элементов и форм рельефа (долин, склонов, водоразделов, уступов, гребней и т.д.).

Изучение геокриологических условий предусматривает установление характера распространения многолетнемерзлых пород (сплошное, прерывистое, островное), определение мощности слоя сезонного промерзания-протаивания и степени льдистости мерзлых толщ.

Изучение климатических условий включает характеристику типа климата, его общую оценку, анализ осадков и элементарных циркуляционных механизмов [4]. Анализ осадков предусматривает исследование их внутригодового режима и многолетнего режима раздельно для осадков за холодный и теплый периоды и за год в целом.

Данные для перечисленных выше исследований собираются, в подавляющем большинстве, в предполевой период по литературным, фондовым, картографическим материалам и космофотоснимкам. В полевой период они уточняются и дополняются, преимущественно в части проявлений оползневого процесса и форм рельефа.

Изучение склонов. Склоны – место развития оползневого процесса, и для его оценки важны все особенности и параметры склонов. Поэтому изучение склонов включает определение большого количества данных: возраст склона, его генезис, форма, размеры (высота, крутизна), строение, обводненность, растительность на склоне, наличие подмыва основания склона водотоком, у морских береговых уступов – наличие ниш, пляжа и его ширина деятельность человека на склоне. Кроме того, должны быть закартированы и охарактеризованы проявления на склонах оползневого процесса и других ЭГП (их параметры и типы). На развитие оползней оказывают влияние многие ЭГП и, в первую очередь, выветривание, эрозия, абразия, сели, суффозия, просадки. Современные оползни, как правило, хорошо распознаются на местности и на аэрофотоснимках, трудности обычно возникают при выявлении древнеоползневых форм. В связи с чем может быть необходим детальный анализ геоморфологических особенностей склона, его морфоскульптуры. При характеристике проявлений оползневого процесса следует фиксировать наличие на склоне трещин и заколов за пределами оползневых смещений. Детальность изучения и показа перечисленных данных будет определяться масштабом картирования. Завершать изучение склонов целесообразно их типизацией по одному или нескольким признакам. Типизация склонов, проведенная с учетом закономерностей развития оползневого процесса, хорошо коррелируется с интенсивностью или активностью его проявлений. Это позволяет на основе типизации склонов строить оценочные карты.

Изучение участков проявления оползневого процесса (оползневых смещений). Оползневые смещения представляют собой наиболее выразительную форму проявления оползневого процесса. Их детальное изучение позволяет раскрыть его закономерности, выявить взаимосвязи между проявлениями процесса и факторами его развития. При региональных исследованиях не представляется возможным изучать оползневые смещения с большой детальностью, однако набор изучаемых параметров и элементов оползня достаточно велик. Он включает определение формы оползневого тела, его размеров (длины, ширины, мощности), а также высоты бровки стенки срыва, крутизны поверхности, возраста смещения, в отдельных случаях, когда проводятся бурение или геофизические работы – положения поверхности смещения. На оползневых смещениях изучаются также характер поверхности оползневого тела, его трещиноватость и обводненность (наличие на теле оползня источников, мочажин, участков заболачивания), растительный покров.

На основе этих данных делаются выводы об активности оползневого процесса и проводится типизация оползней по избранным признакам.

3. Изучение селей

Главными особенностями селевых потоков являются их территориальная принадлежность к горно-складчатым областям и участие в формировании потоков твердой (горные породы) и жидкой (вода) составляющих, которые представляют единую природную (экзогеодинамическую) систему – селевой поток.

Таким образом, особенности изучения селевого процесса определяются: а) природными условиями горно-складчатых областей; б) особенностями горных пород (твердой составляющей), их состоянием, скоростью накопления; в) спецификой формирования жидкой составляющей (осадки, подпруживание водотоков, таяние льда и снега); г) различием механизма процесса на трех его стадиях: зарождения (эрозионное, оползневое), движения селевого потока по руслу (турбулентное, ламинарное) и разгрузки селевого потока (образование конусов выноса).

Изучение территории (акватории). Его проводят с целью выявления всех селеопасных бассейнов, а также исследования изменчивости геологических, тектонических, геоморфологических, климатических и гидрологических условий.

Селевые потоки проходят в разных бассейнах с различной частотой, и следы их могут быть размыты паводками. Поэтому для выявления селеопасных бассейнов необходим анализ всех природных условий, дополняемый опросом населения и сбором сведений о сроках селепроявлений. Кроме того, при выделении бассейнов характеризуется тип селевых потоков, проходящих по ним (водокаменные, грязекаменные, грязевые). Следует также учитывать, что в разное время в зависимости от поступления и соотношения жидкого и твердого материала характер селей может меняться, в связи с чем характеристика селей дается по наиболее часто повторяющемуся типу селя [7] . Исследования природных условий при изучении селей имеют свою направленность. Особое внимание уделяется геолого-структурным и литолого-петрографическим особенностям горных пород. Источником твердой составляющей селей являются рыхлообломочные накопления. Поэтому изучаются не только генезис, состав, мощность и водостойкость этих отложений, но и скорость их накопления, а, следовательно, состояние коренных пород и их отношение к выветриванию, вынос обломочного материала ледниками.

Формирование рельефа в горноскладчатых областях связано с их вертикальной зональностью [10], поэтому изучение геоморфологических условий развития селей проводится с учетом выделяемых зон (нивальная, высокогорная, среднегорная, низкогорная, межгорных долин и впадин). Для нивальной и высокогорной зон характерно, преимущественно развитие ледниково-эрозионных форм рельефа, среднегорья - эрозионно-аккумулятивных и для низкогорья и долин - аккумулятивных форм, что связано с возможностями, скоростью и характером накопления твердой составляющей. Для характеристики условий накопления обломочного материала и зарождения селей изучаются геоморфологические индикаторы современных тектонических движений: рисунок гидрографической сети, переуглубленные долины, поверхности выравнивания, долины прорыва, террасы. Условия развития селей характеризуют и другие формы рельефа: формы долин, каньоны, осыпные и пролювиальные шлейфы, конуса выноса, запруды, ледниковые и завальные озера.

При изучении климатических условий развития селей, так же, как для оползней, изучается общий характер климата, элементарные циркуляционные механизмы, годовой и многолетний режим осадков и температур. Кроме того, эти данные дополняются изучением ливневых осадков их режима, обеспеченности, приуроченности к определенным периодам, а также изучением суточных колебаний температур, анализом их аномалий и сочетанием с осадками, что особенно важно для районов развития гляциальных селей. Изучение климатических условий должно увязываться с изучением гидрологии, которое включает: гидрологический режим рек и ледников, их максимальные и минимальные расходы, скорости потоков, колебания уровней в водотоках при ливнях и интенсивности таяния льда и снега, величину твердого стока, объем селевых выносов. Эти исследования дополняются характеристикой растительности и данными о выходах подземных вод.

В криолитозоне дополнительно изучаются характер (сплошная, островная) и глубина распространения многолетнемерзлых пород, мощность зоны сезонного промерзания-протаивания и режим протаивания.

Изучение селевых бассейнов. В селевых бассейнах проводится большой объем работ, в процессе которых изучаются условия зарождения и движения селевых потоков. Они включают исследование строения селевого бассейна, выделение в нем очагов зарождения селей, зоны транзита и разгрузки, определение морфометрических характеристик бассейна, в первую очередь, уклон русла и ширину долины. Изучается наличие рыхлого материала по всему бассейну, его генезис, условия залегания и накопления, возможности пополнения им селевого потока в зоне транзита, а также размеры конусов выноса, наличие разновозрастных отложений в них и условия разгрузки; при разгрузке селевых водотоков в море оценивается возможность пополнения за их счет пляжевого материала.

На формирование селей влияют многие ЭГП: выветривание, обвалы, осыпи, оползни, эрозия, курумы, солифлюкция, лавины, подвижки ледников, в селевых бассейнах изучаются и картируются их проявления, оцениваются взаимосвязи с селевым процессом. Важное значение имеет установление возраста прошедших селей, для чего широко изу-

чается древесная растительность, имевшая непосредственный контакт с селевым потоком (дендрохронологический метод). На основе анализа всех материалов дается оценка современной активности селевого процесса в бассейне, объемов выносимого селями твердого материала.

Изучение очагов зарождения селей. Эти исследования начинаются с классификации очагов по их генезису [9], определения их размеров, а также состава и объема накопленного в них рыхлого материала. Одним из мощных источников твердой составляющей селей являются морены, они должны быть изучены и закартированы. Кроме того, изучается связь селевых очагов с ЭГП, скорость пополнения в очагах обломочного материала, а также характер зарождения селевых потоков (эрозионный, оползневой).

На основе этих данных дается оценка возможности зарождения селевых потоков при различных воздействиях на очаги.

4. Результирующие материалы

При региональном изучении оползней и селей результирующие материалы (отчеты и карты) содержат широкую региональную характеристику территории и предназначены для использования при разработке регионального прогноза процессов планирования хозяйственных мероприятий и проектирования локальных инженерно-геологических работ. Особенностью отчетов является содержание в них подробной информации о селях и оползнях. Для селей рекомендуется представлять перечень всех селевых водотоков с соответствующей характеристикой, а для оползней – перечень (кадастр) оползней (прилагается к карте распространения оползней). В СССР разработана форма такого кадастра [3], включающая следующие позиции:

I. Местоположение оползня или оползневого участка.

1. Номер оползня или оползневого участка.
2. Номер листа карты масштаба 1:200 000.
3. Административное положение.
4. Привязка к бассейну реки, берегу моря, озера, водохранилища.
5. Адрес.
6. Год и сезон наблюдения.

II. Общая характеристика оползневого склона.

7. Протяженность оползня или оползневого участка вдоль склона, км.
8. Высота склона, м.
9. Заложение склона, м.
10. Крутизна склона, град.
11. Экспозиция склона.
12. Форма склона:

а) в плане, б) в профиле.

13. Геоморфологическая характеристика за бровкой оползневого склона.
14. Расстояние в км от бровки оползневого склона до ближайшего водораздела или до бровки плато, террасы.
15. Расстояние в км от центра оползня или оползневого участка до ближайшего оврага, прорезающего весь склон.
16. Возраст, состав и мощность коренных пород, слагающих склон, и чехла покровных отложений.
17. Характеристика прочности глинистых пород.
18. Направление и угол падения слоев по отношению к склону.
19. Наличие современных крупных тектонических нарушений (разломов, сдвигов).
20. Положение деформирующегося горизонта относительно подошвы склона.
21. Количество деформирующихся горизонтов на склоне, строение оползневого массива.
22. Глубина захвата пород смещением.
23. Степень обводненности пород склона.
24. Наличие и характер растительности.
25. Наличие и интенсивность подмыва оползневого склона.
26. Наличие искусственных факторов, уменьшающих устойчивость оползневого склона.

27. Наличие и характер застройки склона.

28. Наличие и положение на склоне свежих или действующих (периодически действующих) оползней или других оползневых деформаций.

III. Характер свежих или действующих оползней.

29. Морфологический тип оползня (по Е.П. Емельяновой [2]).

30. Размеры оползня: а) высота стенки срыва, м; б) длина , м; в) ширина, м; г) площадь, $м^2$, д) объем, $м^3$.

31. Характер рельефа поверхности оползня и его языка.

32. Характер растительности на стенке срыва.

33. Базис оползня.

IV. Степень активности оползневого склона или участка.

34. Тип основных оползней по их механизму.

35. Степень устойчивости склона.

36. Площадь оползня (оползневого склона) и площадь его активной части, $м^2$.

37. Показатель активности оползневого участка. %.

38. Примечания.

При региональных работах, выполняемых путем обследования территории, возможно заполнение не всех граф кадастра.

Графический материал по результатам работ представляется в виде комплекса различных карт. Обязательной среди них является инженерно-геологическая карта условий развития процесса (оползневого, селевого). Она составляется в масштабе 1:200 000 - 1:100 000 и может быть представлена в синтетическом (одна карта) или аналитическом (комплект карт с тем же содержанием) варианте. Карта условий развития процесса должна составляться на топооснове того же масштаба. На карте должно быть отражено: геологическое строение территории, состав и состояние пород, тектонические, геоморфологические, геокриологические (для криолитозоны) и гидрогеологические условия, распространение современных геологических и инженерно-геологических процессов.

За основу построения карты берется принцип литолого-генетического анализа территории, которая делится на геологические тела различного ранга (стратиграфо-генетические комплексы и литолого-фациальные комплексы горных пород, горные породы и их характерные сочетания). На карте условий представляются тектонические элементы, имеющие инженерно-геологическое значение и влияние на развитие ЭГП. К ним относятся "живые" разломы, зоны дробления, элементы залегания, вулканы и другие элементы. При отражении геоморфологических условий на карте показываются преимущественно те формы рельефа, которые взаимосвязаны с процессами (террасы, косы, дюны, пляжи, овраги, котловины, куэсты, скальные уступы, обрывы, троговые долины, сужения долин, заторы селей, крупные конусы выноса селей, завалы и другие формы).

Геокриологические условия в меру их изучения отражаются на карте. Во всех случаях могут и должны быть показаны характер распространения многолетнемерзлых пород (сплошное, прерывистое, островное), глубина их сезонного промерзания, степень льдистости (сильная, средняя, слабая) и криогенные процессы. На карту наносятся все проявления геологических и инженерно-геологических процессов и их характеристика (типы, виды, активность).

Процессы на карте условий обозначаются масштабными и внемасштабными знаками, а в тех случаях, когда небольшие по размерам проявления процессы имеют широкое развитие на ограниченных площадях, на карте оконтуривается общая площадь их развития и внутри показывается условный знак процесса и индекс пораженности ими территории.

Инженерно-геологическая карта условий развития процесса (оползневого, селевого) служит основой для построения карт районирования территории по какому-либо признаку, карт оценок степени устойчивости территории (риска) и карт прогноза процесса. Примером карт оценочного районирования (риска) являются карты типа "ЗЕРМОС" [11]. Они построены по принципу совмещения на одной карте элементов инженерно-геологических условий и инженерно-геологического районирования. На карте масштаба 1:100 000 отражены стратификация и литология пород, выделены границы особенно оползне-опасных горизонтов, разломы, геоморфологические условия, родники, водохранилища, районы рудников, тип движения склонов.

В СССР широко распространены карты районирования территории по условиям разви-

тия и интенсивности проявления процессов, на которых на основе анализа пораженности территории процессом дается количественная оценка его развития [5].

Литература

1. Гудилин И.С., Комаров И.С. Применение аэрометодов при региональных гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. М.: Недра, 1978, 318 с.
2. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. М.: Недра, 1972, 310 с.
3. Информационно-поисковая система "Стационарное изучение оползней". ВСЕГИНГЕО, 1979, 80 с.
4. Кононова Н.К., Харламова И.В. Некоторые закономерности многолетних колебаний циркуляции атмосферы, климата и селевой деятельности. "Многолетн. колебания циркуляции атмосферы и климата в XX столетии". Материалы метеорол. иссл -ний. Труды Междувед. геофиз. комитета, при Президиуме АН СССР. М.: 1982 г. 6-56 с.
5. Методические рекомендации по проведению специального инженерно-геологического обследования территории. ВСЕГИНГЕО, 1982, 64 с.
6. Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200 000 М.: Недра, 1978, 391 с.
7. Методическое руководство по комплексному изучению селей. М.: Недра, 1971, 164 с.
8. Садов А.В., Ревзон А.Л. Аэрокосмические методы в гидрогеологии и инженерной геологии. М.: Недра, 1979, 223 с.
9. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. М.: Недра, 1971, 296 с.
10. Щукин И.С. Основы геоморфологии, М.: Изд-во МГУ, т. 2. 1964, 564 с.
11. Humbert M. (1981) La carte des risques naturels du department de la Drome a 1/100 000 et notice explicative. Rapp. inedit. Securite civile-BRGM Orleans, France.
12. Hutchinson J.N. (1976) Coastal landslides in cliffs of Pleistocene deposits between Cromer and Overstrand, Norfolk, England. Laurits Bjerrum Memorial Volum, Oslo. pp.155-182
13. Walthan T. Catastrophe: the violent Earth. Macmillan, London Limited, 1978

Глава 6

ЛОКАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ

1. Общие положения

Локальное изучение оползней и селей проводится с целью определения механизма развития процессов, оценки оползневой или селевой опасности для отдельных участков или разработки локального прогноза процессов. Локальные исследования выполняются при выдаче заключений по отдельным объектам, инженерно-геологических изысканиях на выбранных участках под конкретные объекты, а также на ключевых участках при инженерно-геологических съемках. Эти работы выполняются, как правило, посредством специализированных (оползневой, селевой) съемок. Основная их особенность заключается в детальности и всесторонности исследований, осуществляемых благодаря комплексности методов и разнообразию технических средств, что позволяет давать, в большинстве случаев, количественную оценку исследуемым параметрам, объектам и явлениям.

При детальном изучении участков для получения точной информации широко применяются буровые и горно-проходческие работы, к которым относятся бурение скважин, проходка расчисток и шурфов, а в отдельных, особо ответственных случаях, - штолен. Эти методы используются преимущественно при изучении оползневых участков и ограниченно (в основном, - неглубокие шурфы) - в селевых бассейнах. Как правило, локальное изучение оползней и селей проводится после их регионального изучения, и инженер-геолог в этом случае располагает всеми региональными инженерно-геологическими ма-

5386

териалами, что позволяет ориентировать работы на детализацию исследований условий и закономерностей развития процессов.

Построение локальных работ, как и региональных, предусматривает три периода исследований: предполевой, полевой и камеральный.

В предполевой период собирают и анализируют результаты прошлых исследований, намечают задачи и виды полевых работ, конкретизируют места отдельных видов исследований.

Работы в полевой период при локальном изучении оползней и селей сосредоточены на участках проявления процессов, в редких случаях они выходят за их границы. Основными направлениями этих работ являются: а) детальное изучение состава, структурных и текстурных особенностей и мощностей поверхностных и коренных пород; б) отбор образцов и изучение физико-механических свойств пород; в) изучение элементов рельефа, составление профилей оползневых склонов и селевых водотоков; г) изучение типов, форм и отдельных элементов проявлений процессов, их картирование; д) изучение водопроявлений, их дебита, режима водотоков; в) изучение растительных сообществ, распространения растительности, ее особенностей как индикатора развития процесса ("пьяный лес", поврежденные деревья); ж) наблюдение за зданиями и сооружениями, изучение их деформаций в зависимости от конструкций сооружений и местоположения по отношению к проявлениям процессов, оценка работы противооползневых и противоселевых сооружений.

В камеральный период состав работ при локальных исследованиях аналогичен составу работ при региональных исследованиях.

2. Изучение оползней

Локальное изучение оползней осуществляется посредством специализированной оползневой съемки, представляющей "комплексное изучение геологических, геоморфологических, гидрогеологических, геоботанических условий и характера оползневых деформаций на опорном участке" [1].

Детальное изучение геологического строения оползневых участков и свойств слагающих их пород начинается, как правило, с горно-буровых работ и дополняется другими методами. Проходка скважин позволяет решать ряд задач: установление геологического разреза и, в том числе, положения поверхности смещения оползневого тела, отбор образцов и монолитов для изучения свойств пород, проведение опытных инженерно-геологических, гидрогеологических и геофизических работ в скважинах, а также позволяет использовать скважины для закладки реперов. Количество скважин, их глубина и размещение определяются геологической структурой участка. При этом глубина скважины должна на 5-10 м превосходить глубину плоскости смещения оползня. Наиболее подходящим способом бурения при изучении оползневых участков считается ударно-канатный способ [1].

Помимо перечисленных выше исследований, общих для оползней и селей, в состав оползневой съемки входят специфические для локального изучения оползней исследования по определению возраста оползневых склонов и исследования оползневых трещин. "Возраст генерации оползней или оползневых склонов определяется на основании соотношения их с соответствующими аккумулятивными формами рельефа. Такое сопоставление обычно делается с моренными и речными террасами. Генерация оползневого или другого денудационного склона считается одновозрастной террасой, если склон на нее опирается" [1]. Для определения возраста склона проводится детальный геоморфологический анализ оползневых склонов и на основе его составляется карта (схема) развития оползневых склонов (рис. 2.12).

Хорошими индикаторами развития оползневого процесса являются трещины на оползневом теле, которые могут иметь как оползневое, так и другое происхождение (тектонические выветривания). Их анализ и картирование позволяет оценить активность оползневого процесса, разделить оползневое тело на отдельные зоны. Для картирования поверхностных оползневых трещин пользуются их классификацией, основанной на учете направления вектора полной деформации по отношению к плоскости трещины [3]. По признаку горизонтального угла различаются трещины: 1) растяжения, 2) растяжения и сдви-

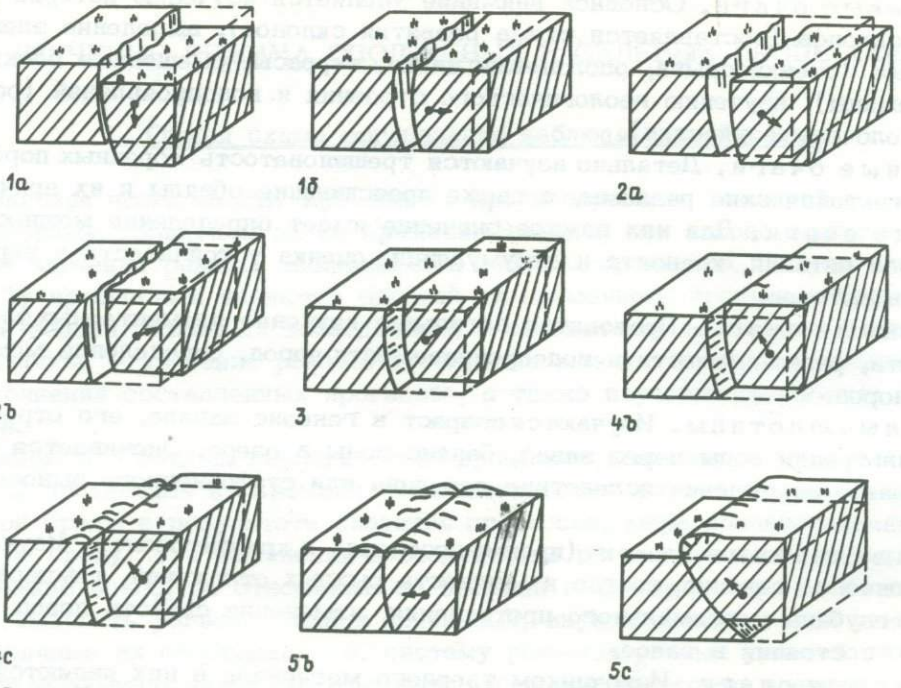


Рис. 6.1. Блок-диаграммы различных типов оползневых трещин по Тер-Степаняну Г.И.: 1 – трещины растяжения (а – опущенные, b – горизонтальные); 2 – трещины растяжения и сдвига (а – опущенные, b – горизонтальные); 3 – трещины сдвига; 4 – трещины сжатия и сдвига (b – горизонтальные, с – поднятые); 5 – трещины сжатия (b – горизонтальные, с – поднятые).

га, 3) сдвига, 4) сжатия и сдвига, 5) сжатия.

По признаку вертикального угла различаются трещины: а) опущенные, б) горизонтальные, в) поднятые.

По сочетанию этих признаков выделены наиболее распространенные типы трещин, они изображены на блок-диаграмме оползневых трещин (рис. 6.1).

На основе данных оползневой съемки определяется активность оползневого процесса и повторяемость активизаций, дается оценка устойчивости склонов.

3. Изучение селей

Локальное изучение селей проводится посредством специализированной селевой съемки, представляющей комплексное "изучение территории с целью уточнения собранных и получения новых данных, необходимых для оценки селеопасности территории и обоснования мер борьбы с селями. Эта съемка включает в себя целенаправленное изучение геологического строения (литологии, стратиграфии, тектоники), геоморфологических, гидрогеологических, климатических условий, современных геологических процессов и сопровождается геоботаническими наблюдениями, горными и геофизическими работами, специальными полевыми работами по изучению инженерно-геологических свойств горных пород" [2]. Особенностями локальных исследований селей являются: широкое изучение свойств грубообломочных пород, детальное изучение режима постоянных и временных водотоков и разведка очагов зарождения селей.

Методика изучения физико-механических свойств грубообломочных пород имеет свои особенности [2]. Определение большинства показателей этих свойств, как например, гранулометрического состава, объемной массы, сопротивления сдвигу и других проводится в полевых условиях. При изучении селей большое значение имеет водопроницаемость пород, которая исследуется для оценки инфлюации, инфильтрации и поверхностного стока на различных участках селевого бассейна [2]. Разведка очагов зарождения селей предусматривает детальное изучение условий формирования селей, которые различны для генетически разных очагов, что отражается на особенностях методики их исследования.

5386

Оползневые очаги. Основное внимание уделяется изучению истории развития оползневых склонов (составляется схема развития склонов), выделение элементов оползневого рельефа (стенки срыва, оползневые цирки, террасы, смещенные блоки, валы выпирания, трещины), изучению геологического строения и водопроявлений (родники, мочажины, заболоченные участки).

Обвальные очаги. Детально изучаются трещиноватость коренных пород, зоны ослабления и тектонические разломы, а также происшедшие обвалы и их причины.

Осыпные очаги. Для них важное значение имеет определение мощности осыпей, выделение зон питания, транзита и аккумуляции, оценка устойчивости и вероятности подпруживания водотоков.

Эрозионные очаги. Проводится детальное изучение элементарных форм эрозии, водопрочности, размываемости и водопроницаемости пород, определение мощности размываемых пород.

Завальные плотины. Изучаются возраст и генезис завала, его строение, состав, скорость фильтрации воды через завал, баланс воды в озере. Оценивается возможность прорыва завала, разрушение вследствие перелива или суффозионного выноса материала из тела завала.

Солифлюкционные очаги (преимущественно в криолитозоне). Изучаются формы солифлюкционного течения, состав и мощность рыхлых отложений, температурный режим пород, глубина максимального протаивания, изменение свойств пород при переходе из мерзлого состояния в талое.

Ледниковые очаги. Источником твердого материала в них являются морены, для которых изучают строение, мощность, гранулометрический состав и свойства, наличие погребенного льда, степень покрытости растительностью. В связи с тем, что сверху морена может быть преимущественно крупнообломочной без заполнителя (генезис, денудация), пробы для ее изучения берут с глубины 0,5 м и более.

Завершается изучение селей оценкой характера зарождения селей, максимальных объемов поступающего в поток в очагах и выносимого потоком твердого материала и активности селевого процесса.

4. Результирующие материалы

Как и при региональных исследованиях, локальные работы по изучению оползней и селей завершаются составлением отчетов и карт. Их характер аналогичен описанным выше (гл. 5). Основное различие заключается в масштабах карт и их информативности, которая больше у локальных карт.

Литература

1. Изучение режима оползневых процессов М.: Недра, 1982, 255 с.
2. Методическое руководство по комплексному изучению селей. М.: Недра, 1971, 164 с.
3. Тер-Степанян Г.И. Новые методы изучения оползней. Ереван: изд-во АН Армянской ССР, 1978; 152 с.

Глава 7

ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМА ОПОЛЗНЕВЫХ И СЕЛЕВЫХ ПРОЦЕССОВ

1. Общая схема организации наблюдательной сети

Принципиальная возможность временного прогнозирования оползней и селей обусловлена закономерным развитием их во времени. Выявить эти закономерности можно только на основе изучения режима оползневых и селевых процессов. Результаты режимных наблюдений за процессами являются основой их временного прогноза. Кроме решения этой главной задачи режимных исследований – обеспечения исходными данными составляемых прогнозов, – изучение режима необходимо еще для проверки, оценки оправдываемости и уточнения составленных прогнозов, а также изучения механизма и кинематики процессов.

Под режимом экзогенных геологических процессов понимается характер изменения активности их проявления во времени. Под активностью понимается величина изменения геологической среды в результате развития процессов, мера воздействия процессов на геологическую среду. Эти изменения и воздействия рассматриваются в различных аспектах, и прежде всего, по отношению ко времени и пространству. В соответствии с этим можно выделить региональный и локальный, внутригодовой и многолетний режимы, а также различные их сочетания, т.е. систему режимов разных уровней от элементарного, характеризующего развитие отдельной части или какого-то элемента формы проявления процесса до режима отдельных инженерно-геологических регионов, областей и районов.

Региональный режим является сложным по структуре, включает в себя режимы более низких порядков или уровней (рис. 7.1). По отношению ко времени, как видно из схемы, выделенные виды режимов могут быть многолетними и внутригодовыми. Определение элементарного режима приведено выше. Локальный режим – это изменение активности проявления отдельной формы процесса, отдельного оползня с прилегающим участком склона, очага зарождения селей. Под субрегиональным режимом понимается изменение активности проявления процесса на территории с одинаковыми геологическими условиями его развития, т.е. речь идет о группе генетически однородных форм проявлений процесса уже имеющихся, а также тех, образование которых возможно. Как правило, это территория с одинаковым внутригодовым режимом процесса, т.е. однородная в отношении процессоопасных сезонов. Исходя из определения субрегионального режима, отметим, что активность проявления в данном случае реализуются за счет: а) развития уже существующих форм проявлений; б) возникновения новых. В этом заключается принципиальное отличие локального режима от субрегионального и регионального.

Региональный режим характеризует активность проявления процесса на обширной, возможно с различными геологическими условиями территории, но однородной в отношении режима изменяющихся факторов, определяющих развитие этого процесса. Такие территории названы "временными зонами" [4]. Для них характерен синхронный многолетний режим всех форм проявлений процесса, определенное сочетание периодов активи-

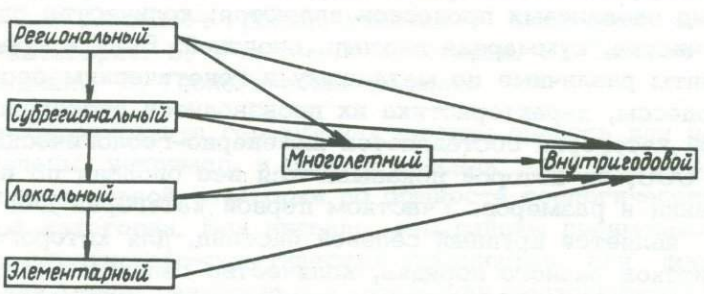


Рис. 7.1. Структура и разновидности режима оползневых и селевых процессов

зации процесса, присущее только им. В отличие от субрегионального режима, региональный режим является однородным в многолетнем разрезе. В результате изучения регионального режима должны быть получены данные, удовлетворяющие следующим основным требованиям: 1) представлять собой количественные хорошо фиксируемые показатели активности проявления процесса, обладающие необходимой точностью и пригодные в качестве основы временных рядов процессов; 2) быть представительными для значительных по площади территорий, т.е. характеризовать активность проявления процесса всего региона в целом; 3) давать представление о внутригодовом распределении активности проявления процесса с целью выявления процессоопасных сезонов. Сформулированные требования выполнимы при использовании для изучения режима процессов наблюдательных участков трех категорий. Идея изучения регионального режима процессов на опорной сети, состоящей из участков различных категорий, заключается в получении данных об активности проявления процессов различных уровней, точности и детальности на типовых участках, выбранных по определенным принципам, и получении репрезентативных достоверных показателей региональной активности проявления процессов без сплошного обследования территории. Количество категорий участков определяется сложностью геологического строения территории, особенностями и разнообразием условий развития процессов.

Как показывает опыт, для горных районов оптимальной является сеть из трех категорий участков.

2. Изучение регионального режима оползней и селей

Наиболее крупными являются участки первой категории, представляющие собой территорию с одинаковым режимом изменяющихся независимых факторов (атмосферных осадков, температуры воздуха, уровней моря, расходов рек и т.д.). Периоды аномалий этих факторов в пределах участков первой категории наступают одновременно, из чего следует, что и активизация форм проявлений процесса происходит здесь в одно и то же время, возможно даже синхронно с режимом изменяющихся факторов или метахронно, т.е. с запаздыванием на определенное время, продолжительность которого определяется особенностями механизма процесса. Во всяком случае несомненно одно, что все формы проявления процесса в границах участков первой категории находятся в одинаковых условиях по отношению к режиму определяющих их факторов. Если на исследуемой территории выделены временные зоны, то в качестве участка первой категории выбирается часть временной зоны, наиболее сильно пораженная изучаемым процессом. Естественными границами участков первой категории являются водоразделы, реки, границы высотных зон и т.п. Чаще всего – это долины или бассейны крупных рек. При невозможности точно выделить и ограничить территорию с одинаковым режимом изменяющихся факторов в качестве участков первой категории используются геоморфологические области. Участки первой категории – это региональный уровень изучения режима процессов.

Для оползней определение участка первой категории совпадает с общим для всех процессов – это часть временной зоны или геоморфологической области, наиболее сильно пораженная оползнями. Основными характеристиками участка первой категории для изучения режима оползневых процессов являются: количество оползней в пределах участка, площадь участка, суммарная площадь оползней. Если в пределах участка первой категории развиты различные по механизму и генетическим особенностям проявления оползневые процессы, характеристика их производится дифференцированно. Для каждого участка первой категории составляется инженерно-геологическая схема масштаба 1:50 000 – 1:25 000, на которой показываются все оползни по выделенным типам с указанием их границ и размеров. Участком первой категории для изучения режима селевых процессов является крупный селевой бассейн, для которого определяется: общее количество притоков разного порядка, количество селевых водотоков, генезис очагов зарождения селей (Рис. 7.2). Указанная информация отображается на специальной инженерно-геологической схеме масштаба 1:50 000 – 1:25 000. В случае однородных, небольших по длине склонов, с малыми по площади селевыми бассейнами, имеющими очаги зарождения в одной и той же геоморфологической области, в качестве участка

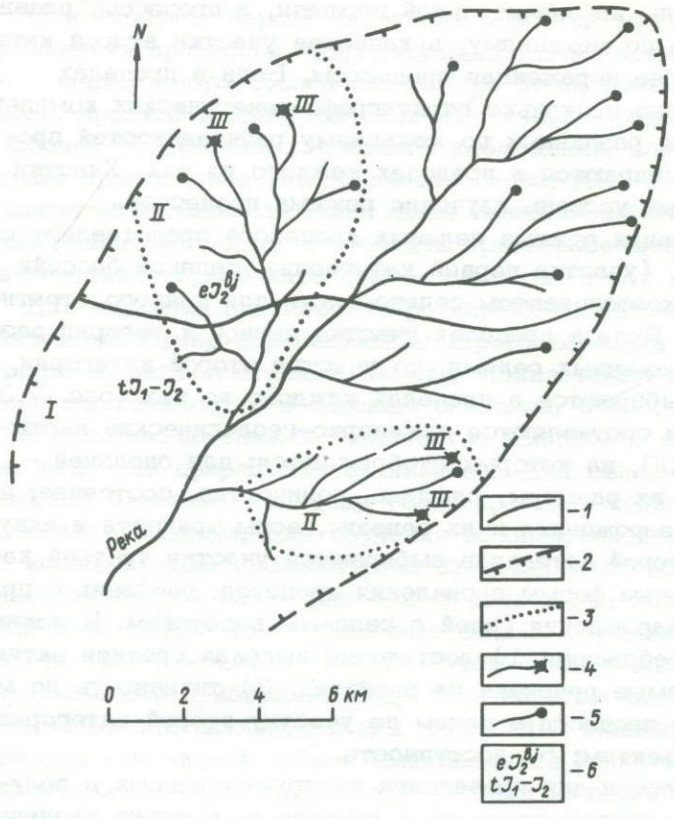


Рис. 7.2. Схема опорной наблюдательной сети для изучения режима селевых процессов (для крупных селевых бассейнов). Условные обозначения: 1. Геологическая граница. 2. Линия водораздела, по которой проходит граница участка I категории. 3. Граница участка II категории. 4. Участок III категории. 5. Селевой водоток с очагом зарождения. 6. Геологические индексы

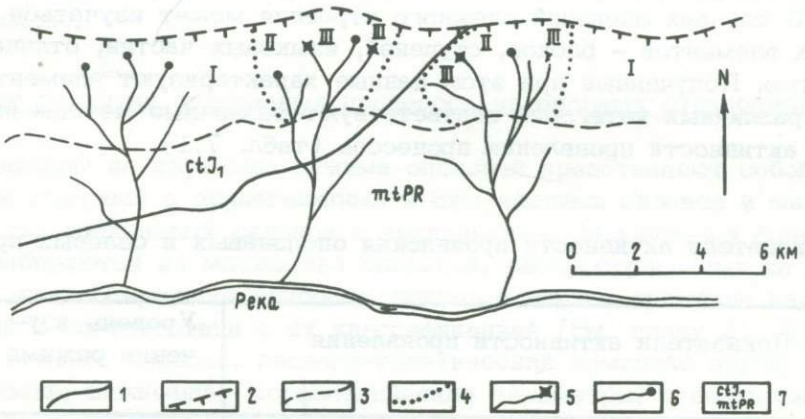


Рис. 7.3. Схема опорной наблюдательной сети для изучения режима селевых процессов (для небольших по площади селевых бассейнов). Условные обозначения: 1. Геологическая граница. 2. Линия водораздела, по которой проходит граница участка I категории. 3. Граница геоморфологической области, с которой совпадает граница участка I категории. 4. Граница участка II категории. 5. Участок III категории. 6. Селевой водоток с очагом зарождения. 7. Геологические индексы

первой категории выбирается эта геоморфологическая область или часть ее (рис. 7.3). Такие участки выделены, например, в горных районах зоны БАМ [22].

В пределах участков первой категории по общности геологических условий выбираются участки второй категории. Как правило, это районы преимущественного развития пород определенных стратиграфо-генетических комплексов или формаций, т.е. территории, более или менее однородные в отношении геологического строения и литологии пород, что обусловливает сходство по механизму или генетическим особенностям распространенных здесь процессов. В случае, когда породы определенного стратиграфо-

генетического комплекса распространены на значительной площади, а процессы, развитые в них, более или менее однородны по механизму, в качестве участка второй категории выбирается часть района, наиболее пораженная процессом. Если в пределах участка первой категории распространено несколько стратиграфо-генетических комплексов пород, являющихся средой развития различных по механизму разновидностей процесса, то участки второй категории выбираются в пределах каждого из них. Участки второй категории - это субрегиональный уровень изучения режима процессов.

Участок второй категории для изучения режима селевых процессов представляет собой часть крупного селевого бассейна, (участка первой категории), селевой бассейн более мелкого порядка с наибольшим коэффициентом селеносности для данного стратиграфо-генетического комплекса пород. Если в пределах участка первой категории развиты несколько комплексов пород, пораженных селями, то участки второй категории, селевые бассейны, в данном случае выбираются в пределах каждого из них (рис. 7.3). Для каждого участка второй категории составляются инженерно-геологические карты-схемы в масштабе 1:5000 - 1:10 000, на которых отображаются: для оползней - все оползневые формы в масштабе, их размеры, площадь, количество, состояние; для селей - все селевые водотоки, очаги зарождения и их генезис, зоны транзита и аккумуляции селей. В границах участка второй категории выбираются участки третьей категории, представляющие собой отдельные формы проявления процесса: оползень с прилегающим участком склона или очаг зарождения селей с селевым водотоком. К таким участкам предъявляются следующие требования: 1) достаточно высокая средняя активность проявления; 2) хорошо фиксируемые признаки их развития; 3) типичность по механизму и генетическим особенностям процесса в целом по участку второй категории; 4) близость к каким-либо важным объектам; 5) доступность.

Участки третьей категории оборудуются для проведения инструментальных и полуинструментальных наблюдений за активностью проявления процессов, а также различными специальными приборами и датчиками. На этих участках получают данные о локальном режиме. В случаях оползней сложного строения может изучаться режим отдельных его составных элементов - блоков, ступеней, языковых частей, отличающихся различной активностью. Полученные при этом данные характеризуют элементарный режим.

Участкам различных категорий соответствуют различные методы изучения режима и показатели активности проявления процессов (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Показатели активности проявления оползневых и селевых процессов

Процессы	Показатели активности проявления	Уровень изучения режима	Категория наблюдательных участков
Оползневые	Количество вновь образовавшихся и активизировавшихся оползней	Региональный	I
	Количество и площадь вновь образовавшихся и активизировавшихся оползней	Субрегиональный	II
	Величина смещения оползня, объем сместившихся масс	Локальный	III
	Величина смещения отдельных блоков или частей оползня, объем сместившихся масс	Элементарный	III
Селевые	Количество водотоков со следами прохождения селей	Региональный	I
	Количество прошедших селей	Субрегиональный	II
	Количество и объемы селевых потоков	Локальный	III

Для участков первой категории основной метод получения информации об активности проявления процессов – аэровизуальные наблюдения. Возможно также применение наземного маршрутного обследования. При этом, показателем активности проявления оползневых процессов является количество вновь образовавшихся или активизировавшихся оползней со времени последнего наблюдения, для селей – количество водотоков, по которым прошли сели или количество водотоков со свежими следами прохождения селей. Данные об активности проявления селей, полученные при аэровизуальном обследовании, желательно дополнять и уточнять при опросе местного населения. Частота наблюдений на участках первой категории – один раз в год.

Для изучения активности проявления процессов на участках второй категории применяется повторная перспективная аэрофотосъемка, фототеодолитная съемка, специализированные крупномасштабные съемки. Показателем активности для оползневых процессов является количество и площадь оползней, образовавшихся за период между предыдущим и данным наблюдениями, количество и площадь активизировавшихся оползней, суммарная величина приращения их площади. Для селевых процессов – количество селей по каждому селевому водотоку участка, общее количество селей по участку (селевому бассейну) в целом. Для изучения режима селей на участках второй категории эффективно использование наблюдателей из числа местных жителей. Частота наблюдений на участках второй категории – 2–3 раза в год по количеству процессоопасных сезонов. Наиболее точные количественные данные о режиме проявления процессов получаются на участках третьей категории путем точных инструментальных измерений и измерений специальными приборами. Подробнее об этом сказано ниже, в разделе 3.

Показатели активности для оползней – величина смещения оползневого тела и отдельных его частей, объем сместившихся масс, величина оползневых деформаций на различных глубинах; для селей – объем каждого селевого потока, количество и суммарный объем селей для данного участка. Частота наблюдений – ежемесячная.

Методика обработки получаемой при изучении режима процессов информации изложена в следующей главе.

3. Изучение развития оползневых процессов на опорных стационарах

Опорные стационары по изучению режима оползней представляют собой отдельные формы проявления оползней с прилегающими к ним частями склонов и межоползневых гребней или участки оползневых склонов с несколькими оползневыми формами.

Стационары выбираются из множества оползней, распространенных на рассматриваемой территории, как содержащие наиболее типичные черты, присущие изучаемой совокупности оползней в соответствии с их классификацией (см. главу 2). При этом учитываются: тип и генезис оползня, геолого-генетический комплекс пород, в котором развивается оползень, важнейшие морфологические параметры, степень активности развития оползневого процесса, производственная и экономическая целесообразность (удобство в разбивке режимной сети и проведении наблюдений). По морфологическим параметрам (размеры оползня, индекс удлиненности – отношение длины оползня к его ширине, индекс глубины захвата – отношение максимальной мощности оползня к его длине, индекс уплощенности – отношение максимальной мощности оползня к его ширине в том же сечении) строятся гистограммы распределения его значений. Значения параметров оползня опорного стационара должны находиться в области центра их распределения в интервале двух величин среднего квадратического отклонения.

Инженерно-геологические исследования на опорном стационаре проводятся с целью изучения механизма и режима развития оползневых процессов различных генетических типов и могут быть подразделены на инженерно-геологическую разведку и изучение режима.

Инженерно-геологическая разведка включает следующие виды работ: топографическую, специализированную оползневую съемки, геофизические, горно-буровые, опытные гидрогеологические исследования и изучение физико-механических свойств горных пород (табл. 7.2). Материалы разведки имеют большое значение для правильной организации режимных наблюдений и вносят значительный вклад в познание природы оползневого процесса. Перечень параметров, за которыми организуются наблюдения, вытекает

5386

из целевых задач изучения оползневых процессов и определяется требованиями к информации для существующих методов прогнозирования оползней и осуществления работ по проектированию противооползневых мероприятий. В связи с этим на опорном стационаре предусматривается изучение: закономерностей развития оползневых деформаций во времени; взаимодействия отдельных частей оползневого тела, характера их деформации; механизма развития глубинных деформаций (вязкое или пластическое течение, срез по поверхности скольжения и т.д.); местоположения поверхностей скольжения; влияния факторов на развитие оползневого процесса (подземных вод, атмосферных осадков, влажности пород и т.д.).

В процессе работ по изучению режима оползней (см. табл. 7.2) выявляются различные симптомы (индикаторы) фазовых состояний оползня. Ими могут быть существенные изменения измеряемых величин (смещений реперов, показаний трещиномеров, месдоз, датчиков порового давления, уровня и температуры подземных вод, дебита источников, геофизических параметров и др.), а также пространственные изменения трещиноватости, водопроявления, морфологии оползневого склона.

Для изучения эффективности осуществленных противооползневых мероприятий используются те же методы исследования, однако в каждом конкретном случае набор этих методов может быть различным. В частности для оценки эффективности дренажных устройств могут быть использованы наблюдения за уровнем подземных вод соответствующих горизонтов, дебитом источников и водопроявлениями на склоне, геодезические наблюдения за смещением и т.д.

4. Изучение механизма развития селевых процессов на опорных стационарах

Методы изучения механизма развития селевых процессов изложены в различных методических руководствах [9, 17] и монографических работах А.И. Шеко [21], С.М. Флейшмана [20], И.В. Боголюбовой [1], М.С. Гагошидзе [3] и др.

Механизм развития селевых процессов включает следующие основные элементы: формирование жидкой и твердой составляющих селей, собственно зарождение селевого потока (см. гл. 3). Изучение механизма развития селей осуществляется на специально оборудованных селевых стационарах (участках третьей категории), представляющих собой элементарный селевой водоток (бассейн) с очагом (очагами) зарождения селей, наиболее типичный и характерный для данного более крупного селевого бассейна или региона в целом. Выбор опорных стационаров производится на основе региональных исследований.

Работы по изучению механизма проводятся в два этапа: 1) изучение характера условий формирования селей; 2) изучение режима селевого процесса и факторов, его определяющих.

Работы первого этапа – это комплекс детальных инженерно-геологических исследований, в ходе которых должны быть решены следующие основные задачи [9]: установлены очаги зарождения селей и произведена их классификация; выявлены закономерности накопления и транспортировки рыхлообломочного материала; определены запасы материала, который может быть вовлечен в селевой поток; изучены состав, свойства и условия залегания поверхностных отложений и коренных пород, особенно очагов зарождения селей; выявлены геоморфологические условия бассейна и роль различных элементов рельефа в формировании селей; установлены наиболее вероятные типы селевых потоков по составу; определены зоны транзита, подпитки и аккумуляции селей; получены данные о распределении и интенсивности осадков на территории бассейна, энергии поверхностного стока, других гидрометеорологических факторов.

Работы первого этапа подразделяются на подготовительные и полевые. Подготовительные работы включают сбор, обобщение и анализ фондовых, литературных и других материалов по вышеперечисленным вопросам. Важным видом работ этого этапа является предварительное дешифрирование аэрофотоснимков. Результатом исследований первого этапа является предварительная инженерно-геологическая карта условий формирования селей, составляемая для всего изучаемого селевого бассейна. Масштаб – 1:50 000 – 1:10 000. На карте отображается следующая информация: геологические, геоморфологические, гидрогеологические и другие условия формирования селевых потоков, очаги зарождения, зоны аккумуляции и транзита селей, экзогенные геологичес-

Таблица 7.2

Инженерно-геологические исследования на опорных оползневых стационарах

Виды работ	Информация	Методы получения информации	Примечания
1	2	3	4
	I. РАЗВЕДКА		
Топосъемка	Топокарта	Мензульная съемка; тахеометрическая съемка; фототеодолитная съемка	Масштаб съемок 1:500–1:2000
Специализированная оползневая съемка	Характеристика геологического строения, геоморфологических условий с указанием возраста отдельных частей склона, границы оползней, местоположение и характеристика морфоэлементов, трещин, водопроявлений, растительности, состояния зданий и сооружений	Визуальное обследование с полуинструментальной привязкой выделяемых объектов, фотографирование, составление схем, карт	
Комплекс геофизических, разведочных и гидрогеологических работ	Характеристика литологического состава пород и условий их залегания, физико-механических свойств, гидрогеологических условий	Бурение; описание обнажений, горных выработок и керна буровых скважин; электрокаротаж; сейсмокаротаж; радиометрический каротаж; искиметрия; вращательный срез; прессиометрия	По результатам разведки выявляется ряд закономерностей, в частности на основе анализа всех материалов строится синтетическая инженерно-геологическая карта оползневого участка и разрезы к ней, отражающие условия и механизм развития оползневых деформаций, местоположение и характеристику инженерно-геологических элементов (ИГЭ) определяются нормативные характеристики пород каждого ИГЭ, зависимость между прочностными и физическими свойствами пород основного деформирующегося горизонта и ослабленных зон
	Структура тела оползня, изменчивость свойств пород, местоположение поверхностей смещения и зон ослабления Местоположение водоносных горизонтов, характер обводненности склона, направление и скорость движения подземных вод, фильтрационные свойства пород, взаимосвязь водоносных горизонтов, источники питания оползня водой	То же, плюс пенетрационный каротаж, динамическое зондирование; наземные электрометрия, сейсмометрия и другие геофизические методы. Бурение; различные виды каротажа; наземная геофизика; индикаторные методы в пьезометрических скважинах; опытные откачки, наливы; измерение температуры; определение химического состава	

5386

Продолжение табл. 7.2

1	2	3	4
Изучение физико-механических свойств пород	Характеристики состава, состояния и свойств пород, в том числе по поверхностям смещения	Лабораторные и полевые методы определения показателей состава, состояния и свойств пород	
Изучение кинематики оползня	II. ИЗУЧЕНИЕ РЕЖИМА Величины смещений различных частей оползневого склона	Геодезические наблюдения за реперами на поверхности склона; фототеодолитная съемка; измерение углов наклона поверхности морфоэлементов наклономерами; измерение величин деформаций характерных трещин посредством трещиномеров и т.д.	для блоковых оползней например, трещины закола
	Величины смещений различных частей оползневого тела	Определение местоположения поверхности смещения и измерения величин оползневых деформаций посредством глубинных реперов	
Изучение изменчивости напряженного состояния	Местоположение и параметры трещин	Повторные наблюдения за образованием и развитием трещин на поверхности склона и на сооружениях; измерение величин деформаций посредством трещиномеров, щелемеров и т.п.	для анализа напряженного состояния привлекаются и результаты наблюдений за оползневыми смещениями
	Величины напряжений	Измерение напряжений в массиве посредством датчиков грунтового давления; определение напряжений методом частичной разгрузки	
	Величины порового давления	Измерение порового давления в глинистых породах посредством датчиков порового давления;	
	Измерение геофизических параметров	Измерение параметров анизотропии электрического сопротивления пород методом кругового ВЭЗ; изме-	Геофизические параметры являются комплексными показателями напряженно-деформированного

Продолжение табл. 7.2

1	2	3	4
		рение продольных и поперечных волн по сейсмическим профилям, измерение звуковой активности пород (геоакустика)	состояния пород в массиве
Изучение изменчивости физико-механических свойств пород	Величины показателей физических свойств пород на различных горизонтах массива	Измерение величин влажности и плотности пород радиоизотопными приборами в наблюдательных скважинах и определение по ним прочностных показателей	Используется определенная на этапе разведки зависимость между сопротивлением сдвигу и влажностью-плотностью пород
Изучение факторов, вызывающих изменение баланса	Размыв или накопление пород в нижней части и накопление (или удаление) пород в верхней части оползневого склона	Геодезический створный метод построения профилей по закрепленным реперам (в том числе подводного склона); стереофотограмметрический метод определения объемов размыва (или накопления) надводной части склона; топо- и батиметрическая съемка	
Изучение факторов, вызывающих изменение баланса масс Изучение факторов, вызывающих изменение баланса масс и прочностных свойств пород	Характеристики гидрологического режима моря (озера, водохранилища, реки и т.д.) Характеристики элементов водного баланса оползневого склона	Сбор информации с ближайших гидрометеорологических и морских станций. Измерение уровня подземных вод различных горизонтов переносным или автоматическим уровнемером; определение стока и испарения с поверхности склона; измерение температуры подземных вод термометрами и термосопротивлениями; определение химического состава; визуальное обследование водопроявлений на склоне, измерение дебита источников; измерение количества атмосферных осадков	данные используются для оценки агрессивности вод, изучения условий питания, взаимодействия водоносных горизонтов, а также влияния на изменение свойств пород, в частности реологических, в зоне смещений

Окончание табл. 7.2

1	2	3	4
		осадкомером или плювиографом; сбор метеоданных с ближайших метеостанций	

кие процессы, участвующие в селеформировании. Для очагов зарождения селей могут составляться более крупномасштабные карты. Состав и объем полевых исследований зависит от изученности, сложности природных условий района и объема информации, полученной в подготовительный период.

Полевые исследования подразделяются на специальную селевую инженерно-геологическую съемку и инженерно-геологическую разведку очагов зарождения селей [9].

Под специальной селевой инженерно-геологической съемкой понимается наземное, аэровизуальное и аэрофотографическое изучение территории с целью уточнения собранных и получения новых данных, необходимых для оценки селеопасности территории, прогноза и обоснования защитных мероприятий. Съемка включает целенаправленное изучение геологического строения, геоморфологических, гидрогеологических, климатических условий, современных геологических процессов и сопровождается различными специфическими работами и исследованиями – геоботаническими, геофизическими, горными, опробованием горных пород. Масштаб съемки 1:50000 – 1:25000, в отдельных случаях может быть принят более крупный масштаб.

В результате проведения инженерно-геологической съемки составляются следующие карты: инженерно-геологическая карта условий формирования селей, инженерно-геологическая карта районирования по интенсивности проявления селевых процессов. Одновременно уточняются, а при отсутствии, составляются карты: геологическая, почвенно-растительная, четвертичных отложений, геоморфологическая. В ходе проведения съемки важно установить частоту прохождения селей, примерные объемы селевых потоков, даты наиболее разрушительных селей. Такие данные получаются при опросе местного населения, а также в результате применения специальных методов: дендрохронологического, лихенометрического и др.

Инженерно-геологическая разведка проводится в очагах зарождения селей и в транзитной зоне – на участках подпитывания селевых потоков твердым материалом. В результате инженерно-геологической разведки решаются следующие основные задачи: определяются характер и скорость поступления твердого материала в русла селевых водотоков; оцениваются возможные максимальные объемы рыхлообломочного материала, который может быть вовлечен в селевой процесс; выявляется характер зарождения селей; оцениваются общие запасы рыхлообломочного материала на склонах и в руслах, являющиеся источником твердой составляющей селей.

Специфика методики инженерно-геологической разведки определяется генетическими особенностями очагов зарождения селей. При разведке оползневых очагов производится специальная оползневая крупномасштабная съемка 1:10 000 – 1:2000, методика которой приводится в этой же главе.

В процессе разведки обвальных очагов особое внимание уделяется изучению и картированию трещин и других поверхностей и зон ослабления. Наибольший интерес представляют крупные тектонические разломы и зоны дробления. При изучении обвальных очагов используются различные геофизические методы для определения зон повышенной трещиноватости, мощности трещиноватых пород и кор выветривания.

При разведке осыпных очагов необходимо установить устойчивость осыпей, скорости их движения, участки их питания, транзита и аккумуляции. Мощность осыпей определяется геофизическими методами.

Разведка эрозионных очагов заключается в детальном картировании эрозионных форм – оврагов, рытвин, промоин, борозд, определении стадий их развития, характера заполнения дна (имеется отмостка или нет). Особое внимание должно обращаться на изучение водопрочности эродируемых пород, условия формирования поверхностного стока – площади водосбора, уклоны русел, водопроницаемость пород и др.

При изучении завальных плотин, с прорывом которых связано образование катастрофических паводков и селей, прежде всего, оценивается вероятность разрушения завала в

результате перелива через него воды, снижения прочности при развитии суффозии и вытаивания льда, сдвига при увеличении гидростатического давления, вызванного повышением уровня. Производится крупномасштабная съемка завальной плотины и берегов озера. Устанавливаются генезис и время образования завала, изучаются его состав и состояние, динамика процессов, происходящих в его теле – инфильтрация, размыв и т.п.

При изучении склонов, прилегающих к озеру, обращается внимание на возможность обрушения или оползания в озеро огромных масс пород, поступления селевых потоков или паводков.

На основании исследований первого этапа – изучения и характеристики условий формирования селей, – организуются комплексные стационарные работы по изучению режима селевого процесса и факторов, его определяющих, на втором этапе. Важнейшим видом стационарных исследований являются режимные наблюдения за формированием и прохождением селевых потоков, в результате которых определяются характеристики селевой активности селевого водотока (бассейна) – частота прохождения селей, их количество, а также характеристики селевых потоков – средняя по сечению скорость потока, распределение скоростей по сечению, плотность, гранулометрический состав селевой массы, уровень, расход и объем. Для осуществления данного комплекса измерений производится соответствующее оборудование участка русла, выбранного для наблюдений. На таком участке перпендикулярно руслу разбиваются 3–4 створа на расстоянии 10–15 м друг от друга. Створы фиксируются метками, нанесенными краской на скале, установкой свай или забивкой металлических штырей, которые одновременно могут служить реперами. Производится также выбор участка для устройства селеметрического сооружения и его строительства [17]. Такой участок должен быть прямолинейным на возможно большом протяжении и иметь более или менее правильную форму поперечного сечения для сооружения комбинированного селеметрического лотка. Обязательным требованием является то, чтобы участок заканчивался водопадом или же резким увеличением уклона. На достаточно большой высоте над лотком сооружается гидрометрический мостик. Оборудуются также спуски к селевому руслу для отбора проб селевой массы, наблюдательные участки.

При прохождении селей ведутся наблюдения за уровнем и поверхностной скоростью потока, берутся пробы селевой массы, производится киносъемка и фотографирование.

Наблюдения за уровнем ведутся визуально, через каждые 1–2 мин., отмечается время подъемов и спадов уровня потока, время прохождения отдельных волн. Наблюдения за поверхностной скоростью селевого потока производятся с помощью поплавков. В случае катастрофических селей поплавками могут служить обломки деревьев, ветки и т.п. Пробы для определения плотности, влажности и гранулометрического состава селевой массы отбираются непосредственно из потока, а также из выплесков, переливов и прирусловых валов.

Помимо наблюдений за прохождением селевых потоков, производятся ежегодные разовые работы в селевом очаге, русле, на конусе выноса в конце каждого селевого сезона. В результате этих работ на крупномасштабный план или схему инструментально наносятся все существенные изменения, имевшие место в течение года [17]. К таким изменениям относятся смещения береговой линии ледниковых озер и уступов обрывов селевых врезов и рытвин, свежие селевые отложения, следы активизации экзогенных геологических процессов и др. Стационарные работы для изучения формирования твердой составляющей включают комплекс регулярных наблюдений в очагах зарождения селей на специально оборудованных участках. Методика исследований определяется генезисом очагов зарождения, основным ее элементом является изучение активности экзогенных геологических процессов: выветривания, осыпей, обвалов, оползней, эрозии, являющихся поставщиком твердой составляющей селей.

При изучении скорости выветривания горных пород и динамики накопления обломочного материала применяются прямые и косвенные методы [9]. Прямые методы предусматривают непосредственное наблюдение за развитием процессов выветривания в искусственных обнажениях пород; при этом фиксируется скорость формирования зоны выветривания, количество обломочного материала, поступающего с единицы площади за

определенное время. Косвенными методами определяется скорость выветривания на естественных склонах.

Стационарное изучение обвалов включает: изучение инженерно-геологических свойств пород в массиве, наблюдения за обрушением пород, изучение трещиноватости пород и др. В результате устанавливается скорость разрушения массивов горных пород. При стационарном изучении осыпей как возможных селевых очагов наиболее важным является определение скорости их формирования и объема, а также подвижности материала, слагающего тело осыпи.

В эрозионных очагах стационарные наблюдения проводятся за скоростью размыва склоновых отложений. При этом изучаются различные виды эрозии - микроструйчатый размыв, овражная и русловая эрозия. Для получения данных о динамике эрозионных процессов оборудуются простейшие створы на склонах и в эрозионных формах, являющихся объектами исследований. Важным элементом выполняемых работ является изучение водопрочности и размываемости эродируемых склоновых отложений, определение размывающих скоростей и объемов размыва при разных значениях энергии поверхностного стока. В результате охарактеризованных стационарных исследований получаются данные о характере формирования, перемещения и накопления твердой составляющей для селей, о скорости ее накопления, времени пополнения запасов рыхлообломочного материала в очагах зарождения после формирования очередных селевых потоков.

Такие же регулярные комплексные стационарные наблюдения проводятся и за режимом формирования жидкой составляющей селей. Эти наблюдения включают: 1) метеорологические; 2) ливнемерные; 3) снегомерные; 4) гидрометрические; 5) гидрогеологические (уровни грунтовых вод в склоновых рыхлообломочных отложениях). Методика этих стандартных наблюдений общепринята. Одновременно с гидрометеорологическими наблюдениями изучается режим влажности склоновых отложений, глубина их промачивания при ливневых осадках и снеготаянии. В результате режимных исследований жидкой составляющей определяются: зависимость энергии поверхностного стока от режима выпадения осадков и режима снеготаяния; критические значения интенсивности и количества осадков, образующих эродирующий и селеформирующий сток, степень и глубина промачивания склоновых отложений - источников твердой составляющей селей. Эти данные совместно с информацией о динамике твердой составляющей и механизме зарождения селей являются исходным материалом для составления прогнозов и обоснования защитных мероприятий.

5. Фитоиндикационные методы изучения режима селей и оползней

Фитоиндикационные методы изучения природных процессов, особенно климатических, используются давно. В России дендроклиматические исследования начали проводить еще в середине прошлого века (А.Ф. Миддендорф, А.Н. Бекетов, Ф.Н. Шведов и др.). Немного позднее американские исследователи дендроклиматическими методами установили цикличность в колебании климата в Северной Америке за последние тысячилетия (А.Э. Дуглас, В.С. Глок, Э. Шульман и др.). Возможность использования фитоиндикационных методов при изучении экзогенных геологических, особенно селевых процессов, была выявлена за последние 15-20 лет в СССР. Первые практические результаты в области дендрохронологических исследований селей были получены в разных регионах (Хибины, Прибайкалье, Приэльбрусье СССР) независимо друг от друга В.Ф. Перовым [12,13], А.М. Лехатиновым [6,7,8], В.И. Турманиной [18,19].

Фитоиндикационные методы подразделяются на фитоценотические, дендрохронологические и лихенометрические.

Фитоценотический метод индикации природных процессов основан на изучении эволюционной смены флористического состава, структуры растительных сообществ на участках их проявлений. При помощи фитоценотической индикации распознаются место, масштаб, выявляется приблизительно время проявления селей и оползней. Положительные результаты она дает при определении общей тенденции регионального развития этих процессов. По сомкнутости растительных сообществ оцениваются при предварительном дешифрировании аэрофотоснимков и фотоснимков преобладающий грансостав вновь образованных отложений. Резкая смена цветовой тональности растительности на снимках

позволяет выделить участки с различным возрастом отложений. Особенно хорошо по структуре и сомкнутости растительных сообществ распознаются участки проявления процессов при их аэровизуальном картировании. Применительно к селевым процессам выявлено, что наибольшая сомкнутость растительности наблюдается на отложениях грязевых и грязекаменных селей и сравнительно меньше – на глыбово-валунных образованиях водокаменных селей. Однако результаты фитоценотического метода изучения проявления селей и оползней не могут быть использованы при составлении временных рядов.

Для получения достоверных результатов при реконструкции временных рядов, составляемых с целью временных прогнозов селей и оползней, режим которых недостаточно изучен, применяются дендрохронологические методы восстановления времени их активизации. При этом принимается аксиома – деревья чутко реагируют, четко фиксируют любые изменения, происходящие в среде их произрастания, и регистрируют все механические, биологические и другие травмы, им наносимые [6]. Дендрохронологическая индикация (дендроиндикация) подразделяется на несколько способов (рис. 7.4) дополняющих информацию, получаемую применением каждого из них в отдельности.

Возрастная дендроиндикация – это датировка проявления селей и оползней в прошлом по возрасту возобновленной древесно-кустарниковой растительности на вновь образованном ими субстрате (отложениях). По репрезентативности получаемой информации возрастная дендроиндикация подразделяется на древостойную, кустарниково-жердевую и порослевую.

Древостойная индикация используется для выявления региональных закономерностей эволюции селевых и оползневых процессов в многовековом разрезе по возрасту зрелых и перестойных лесных насаждений. Оценивается общая направленность и интенсивность этих процессов в зависимости от положения базисов эрозии, денудации и изменения климатических условий. Так, с использованием древостойной индикации была дана оценка эволюции селевых процессов в пределах Байкало-Станового нагорья. Возрастная дифференциация растительных сообществ позволила выделить пять групп разновозрастных конусов выноса: а) очень древних – покрытых многоярусным перестойным лесом (хвойным), в котором обнаженные глыбы селевых гряд подвержены интенсивному выветриванию (первая половина позднего плейстоцена – каргинское межледниковье); б) древних, наложенных на очень древние конуса, покрытых зрелым смешанным лесом с подлеском, глыбы и валуны селевых выносов подвержены слабой десквамации (конец позднего плейстоцена); в) старых, наложенных на древние, покрытых неполноярусным лесом, селевые отложения с плотным пустынным загаром (ранний голоцен); г) молодых, вложенных в древние, и покрытых редколесьем со слабым подлеском, селевые отложения имеют незначительный загар (историческое время); д) современных, вложенных в молодые конуса, покрытых вторичным лесом и кустарником (последнее столетие).

По распространенности и размерам (площади и мощности) конусов выноса пяти возрастных групп установлено, что селевая активность в Прибайкалье СССР была наибольшей в период отступления ледников в плейстоцене. Снижение этой активности началось с раннего голоцена и продолжается по настоящее время.



Рис. 7.4. Классификационная схема дендроиндикации селевых и оползневых процессов при восстановлении временных рядов их активизации

5386

Для составления временных рядов схода селей дендрохронологические исследования проводятся в пределах молодых и современных конусов выноса. При возрастной дендроиндикации производится предварительное районирование селевых поверхностей по ареалам одновозрастных видов леса с использованием аэрофотоснимков. Выделяются участки (ареалы) древостойных, кустарниково-жердевых и порослевых насаждений с составлением их абрисов. На каждом участке отбираются дендропробы на определение возраста селевых отложений. Результаты анализа древостойных насаждений дополняются результатами кустарниково-жердевой и порослевой дендроиндикации. По возрасту кустарников и жердевых насаждений определяется активизация селей и оползней за последние 10-30 лет. Возрастным анализом поросли выявляется время образования наиболее свежих селевых и оползневых отложений. Точность датировки может меняться в пределах ±1 года в зависимости от вида поросли. Известно, что пневая поросль появляется в год и редко через год после схода селей и оползней. Семенная поросль возобновляется медленнее и может давать ошибку при датировке процессов в пределах ±1-3 года [6, 7, 8, 12, 13].

Морфолого-анатомическая дендроиндикация подразделена на деформационную и травматическую. В.И. Турманина [18, 19] широко применила деформационный анализ годичных колец деревьев, наклоненных селевым потоком. Датировка проявления селей заключается в изучении ширины годичных колец, выделяющихся среди других резкой асимметрией. Смена относительно симметричных колец на эллипсоидные обусловливается формированием креневой и тяговой древесины в связи с изменением вертикального положения ствола дерева, приваленного селевыми отложениями, на наклонное. Простым подсчетом количество годичных колец креневой и тяговой древесины устанавливается дата наклона дерева селем, оползнем, эрозией, абразией, пучением, просадкой и т.д.

Травматическая морфо-анатомическая дендроиндикация селей основана на изучении следов механического повреждения стволового камбия. Выявлением приуроченности повреждений на древесных стволах к годичным кольцам устанавливается дата воздействия селевых потоков на эти деревья (впервые применен А.М. Лехатиновым при изучении селей Прибайкалья в 1963-1966 гг.). На анализ отбираются дендропробы (спилы) с поврежденных селем деревьев, растущих на различных участках транзита и аккумуляции селевого бассейна. Предварительно, до отбора спилов, визуально оценивается подверженность деревьев воздействию селей. Выбираются наиболее поврежденные деревья, по которым устанавливаются также основные элементы селевого потока - высоте валов, эпюра скоростей. По грязевым замазкам и вмятинам на стволах определяется основной состав селевой массы и другие параметры (рис. 7.5). Травмированный луб или камбий при залечивании оставляет различные следы на годичных кольцах. Размеры и формы таких следов зависят от степени повреждения. При сильных повреждениях на месте раны прекращается отложение древесины. В таких случаях, как правило, рана неполностью закрывается за счет нарастания древесины на не поврежденной части ствола. Небольшие вмятины, разрывы камбия в межселевой период зарастают в виде встречных завитков, линз и утолщений на кольцах. Они на спилах выделяются последовательным расположением, и количество их показывает частоту травмированности селями (рис. 7.6). Дата повреждения определяется подсчетом количества годичных колец, образовавшихся в неповрежденной части ствола. Подсчет проводится относительно кольца, к которому приурочены следы повреждений. Травматическая морфолого-анатомическая дендроиндикация позволяет получить точные результаты, которыми окончательно корректируются даты прохождения мощных селей в течение последних 150-200 и более лет (зависит от возраста поврежденных деревьев).

Дендрометрический метод изучения режима активизации селей и оползней основан на анализе изменения годичного прироста деревьев в экстремальных условиях. Он состоит из двух способов определения времени активизации - анализа радиального и побегового прироста.

Радиальный анализ годичного прироста дает возможность выявить прирост древесины в год воздействия селей или оползней на деревья. На анализ радиального прироста отбираются дендропробы с деревьев, корни которых частично обнажаются, при сохранении ими вертикального положения. В год подмыва корней селевым потоком или вскрытия их оползневыми смещениями, особенно в начале лета, формируются угнетенные годичные

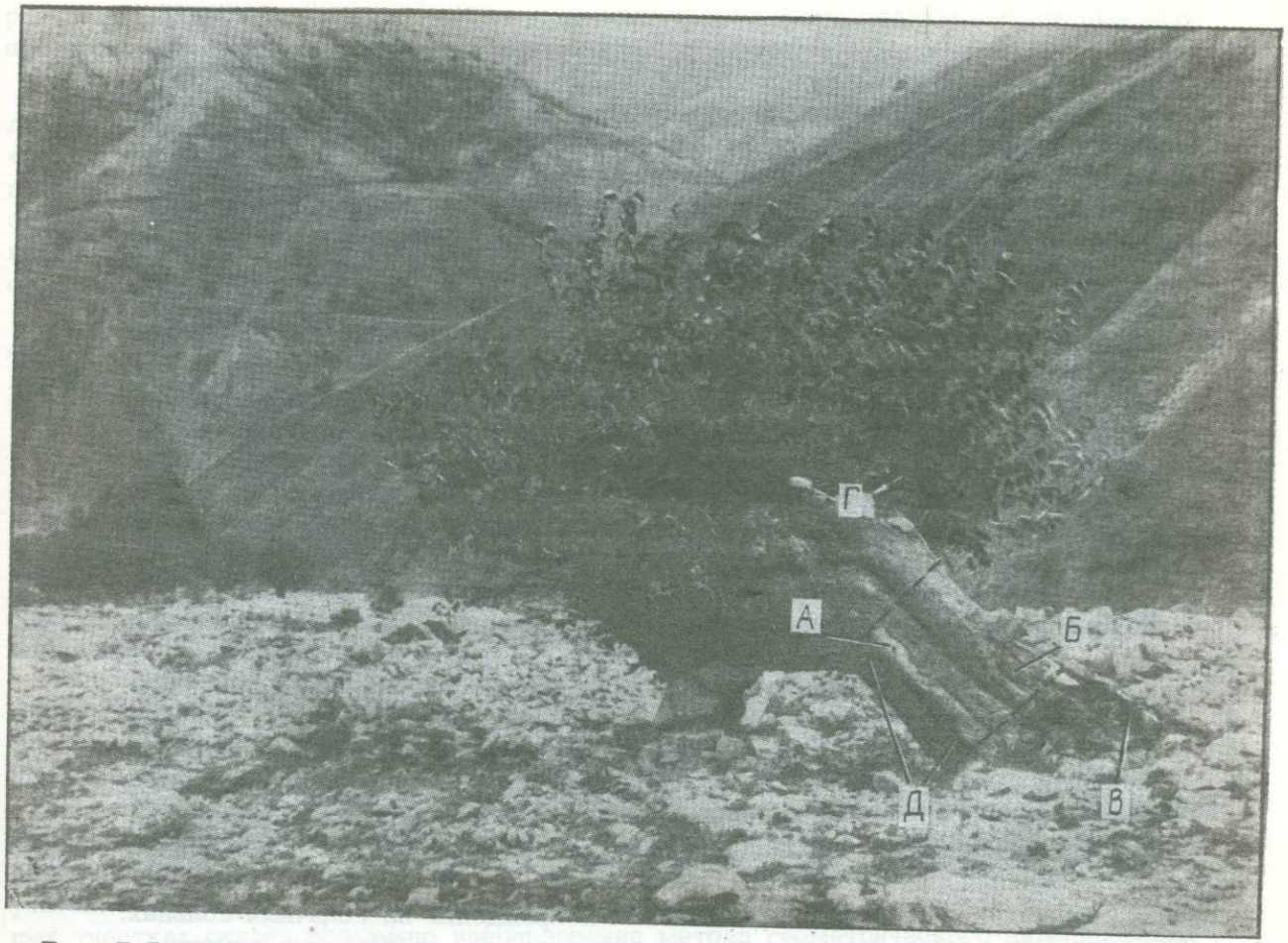


Рис. 7.5. Дерево, периодически подвергающееся воздействию селей (фото М.М.Максимова): А – поврежденная кора (свежие следы селей), Б – раздробленная древесина, В – полуобнаженные корни, Г – остатки селевых выносов – средняя отметка высоты селевых валов, Д – место отбора дендропробы

кольца. Такие кольца могут сформироватья и в последующие годы. По разности радиального прироста между деревьями, растущими в нормальных и нарушенных селями, оползнями условиях, определяется время обнажения корней – проявления селей или оползней.

Побеговая дендроиндикация заключается в определении возраста оползневых смещений (отдельных блоков) по возрасту боковых побегов деревьев. Запрокинутое или опрокинутое дерево, когда крона оказывается ниже комля, дает вертикальные побеги, которые могут составлять угол между стволом менее 90°, т.е. направлены в сторону комля. По возрасту побегов датируют оползневую активизацию с ошибкой ±1–2 года. Лихенометрическая индикация проявления селей и оползней основана на анализе ежегодного прироста накипных лишайников на селевых и оползневых отложениях, сведения о ней содержатся в работах В.И. Турманиной [18, 19]. Сущность метода заключается в массовом замере диаметров крупных колоний лишайников и вычислении средней величины прироста. Исходной точкой отчета является время образования лишайников на отложениях, фактически установленного возраста. Эта индикация используется для относительной датировки проявления процессов.

В целом, фитоиндикационные методы более успешно используются и дают удовлетворительные результаты при восстановлении режима схода селей в прошлом. Составленные временные ряды (см. гл. 8) были положены в основу прогноза селей регионов с недостаточной изученностью. В меньшей мере эти методы разработаны применительно к изучению режима оползней. Фитоиндикация использовалась, главным образом, для распознавания оползневых участков по наличию "пьяного леса" и саблевидных деревьев. Производилась приблизительная временная оценка проявления оползней. Лишь за последние годы шире применяются фитоиндикационные методы датировки активизации оползней

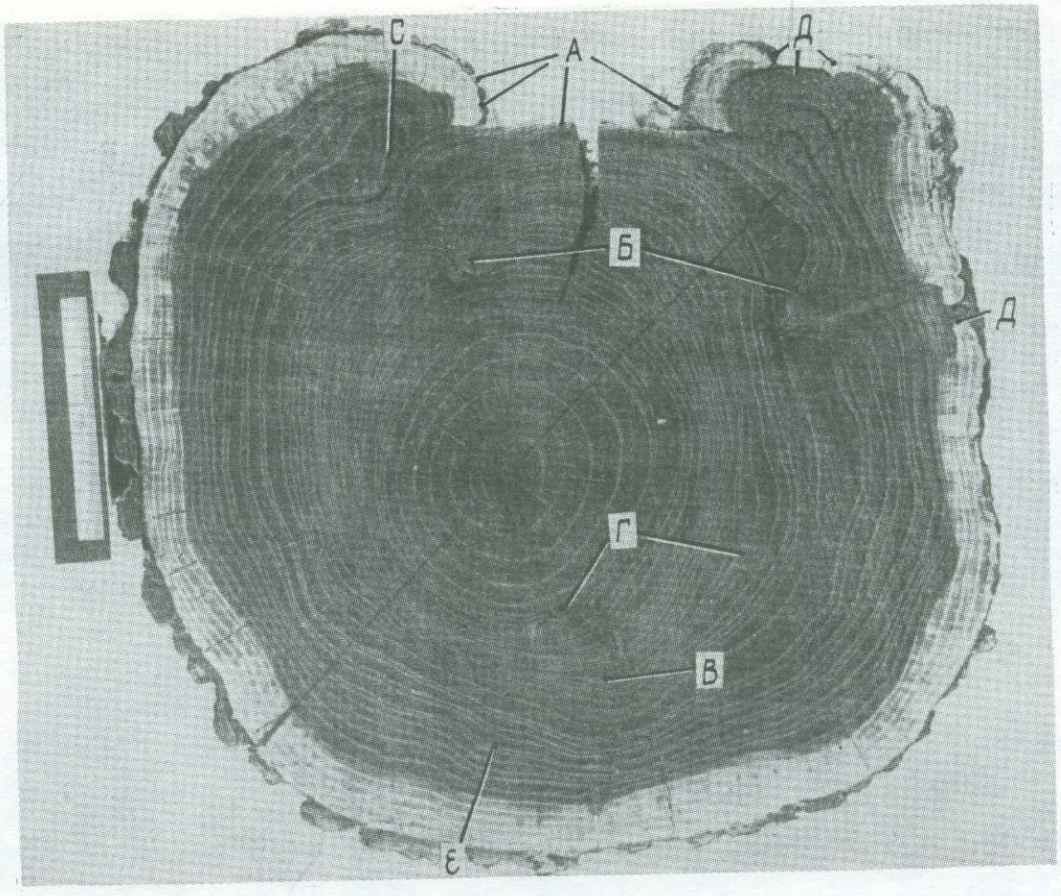


Рис. 7.6. Различные виды селевых повреждений на годичных кольцах: А – внешние завитки и незалеченная рана, Б – внутренние завитки, закрывшие рану, В – линзообразные утолщения, Г – узловатые утолщения, Д – повторное повреждение завиткового нароста с залечиваемой раной, Е – направление подсчета годичных колец при установлении дат повреждения (прохождения селей)

с целью составления временных рядов и временных прогнозов.

С разработкой фитоиндикационных методов изучения режима селей, оползней и других типов экзогенных геологических процессов стало возможным составление долговременных прогнозов при отсутствии наблюдаемых данных.

6. Методы и технические средства изучения оползневых процессов на опорных стационарах

В соответствии с разделом 3, главы 7 на стационарах проводится большой комплекс наблюдений за параметрами, характеризующими режим процесса и факторами, обусловливающими его развитие, включая наблюдения за оползневыми подвижками и изменениями баланса масс пород, изучение напряжений в массиве склона, наблюдения за изменчивостью физико-механических свойств пород, измерения гидрогеологических параметров (уровень и химический состав подземных вод, дебит источников) и климатических параметров.

Наблюдения за оползневыми подвижками

Инструментальные наблюдения за развитием оползневых деформаций являются важнейшей частью режимных наблюдений при изучении оползневых процессов. Временной

ряд величин оползневых смещений характеризует собственно реализацию оползневого процесса.

Наблюдения за оползневыми подвижками проводятся в следующих целях: а) определения наличия (или отсутствия) смещения оползня; б) изучения закономерности изменчивости подвижек во времени и оценки их связи с различными факторами; в) изучения пространственной изменчивости оползневых деформаций на склоне; г) определения местоположения поверхности (зоны) смещения оползня и изучения закономерностей развития глубинных оползневых деформаций; д) определения момента начала активизации оползневых деформаций.

Достижение перечисленных целей осуществляется применением геодезических наблюдений за планово-высотным положением реперов, установленных на поверхности склона, деформографов-трещиномеров, наклономеров, глубинных реперов.

Геодезические наблюдения

Для обеспечения геодезическими реперами всех основных оползневых морфоэлементов закладку сети реперов целесообразно производить по результатам трещинно-морфологической съемки. Опорные и ориентирные реперы должны располагаться вне зоны оползневых смещений. Реперы на склоне должны обеспечить взаимную видимость с ближайших наблюдаемых реперов.

Выбор метода геодезических измерений должен производиться в соответствии с действительными величинами оползневых деформаций. Относительная ошибка измерения оползневой деформации должна быть не более 25%. В верхней части склона, выше стенки срыва оползня, где возможно формирование нового оползневого блока, и в зонах сжатия наблюдения должны быть более точными в соответствии с фактическими величинами подвижек. На участках склона, где преобладают вертикальные составляющие деформаций, следует производить геометрическое нивелирование замкнутыми на этом участке ходами. Для повышения точности нивелирных работ на относительно стабильных участках склона возможно использование метода геометрического нивелирования коротким визирным лучом (порядка 15 м) с применением высокоточных нивелиров и специальных шкал, а также лазерных приставок. Реперы должны быть выполнены в качестве устойчивых стационарно установленных столбов, удобных для установки на них нивелирных шкал. Вместо штатива также используются столбы, заглубленные в грунт на 1,0-1,5 м, в верхней части которых имеются устройства для установки нивелира. Для исключения влияния на устойчивость столба нагрузки от наблюдателя в верхней части столб должен находиться в защитной трубе, заглубленной в грунт на 40-50 см. Расстояния между столбом под нивелир и реперами должны быть одинаковыми. При измерении по двум горизонтам инструмента с отсчетами по основным и дополнительным шкалам средняя квадратическая ошибка превышений может быть менее 0,025 мм. В целях повышения точности и производительности линейных измерений используются светодальномеры с автоматической индикацией результатов измерений. Геодезические методы применяются также для наблюдения за интенсивностью развития во времени процессов эрозии и абразии.

На активных оползнях частота геодезических наблюдений за всеми реперами на поверхности склона должна быть не реже 3-4 раз в год. Для увязки результатов измерений величин оползневых деформаций между собой, их сопоставления с данными ежедневных наблюдений за климатическими условиями, выявления связи с другими факторами, а также для определения начала активизации оползневых деформаций на оползневом участке должно быть установлено 1-3 прибора (трещиномер, наклономер или глубинный репер) с высокоточной автоматической регистрацией величин оползневых деформаций 1-2 раза в сутки.

Наблюдения повышенной точности за деформацией отдельных морфоэлементов, развитием трещин на поверхности склона и сооружениях

Эти работы проводятся, как правило, в комплексе с геодезическими или стереофотограмметрическими наблюдениями, однако на относительно стабильных участках они могут выступать в качестве основных. Объектами наблюдения могут быть: трещины закола, основная опущенная трещина растяжения (стенка срыва), опущенные трещины растяжения, ограничивающие отдельные оползневые ступени; некоторые характерные трещины или системы трещин на поверхности оползня; оползневые трещины на сооружениях; поверхность прибровочной части плато (склона), находящейся выше стенки срыва оползня; поверхности оползневых ступеней.

Как правило, приборы, применяемые для наблюдений повышенной точности за деформацией отдельных морфоэлементов оползневого склона, имеют небольшой диапазон измерений, жестко фиксированную базу прибора и в то же время отличаются простотой конструкции. К ним относятся: гидростатические нивелиры, клинометры и наклономеры, микронивелиры, трещиномеры и щелемеры. Перечисленные приборы могут быть как переносными, так и стационарными, устанавливаемыми на участке.

Гидростатические нивелиры. Метод гидростатического нивелирования основан на использовании закона гидростатики – в сообщающихся сосудах свободная поверхность жидкости всегда находится на одинаковом уровне, независимо от поперечного сечения сосуда и массы жидкости. Простейший гидростатический нивелир состоит из двух градуированных сосудов, соединенных между собой резиновым или пластмассовым шлангом (рис. 7.7). Отсчет производится визуально по шкале на уровне свободной поверхности подкрашенной воды. Погрешность отсчета ±1 мм. Средняя квадратическая ошибка определения разности высот нивелирного хода протяженностью 1 км достигает ±15 мм.

В табл. 7.3 приводятся технические данные некоторых серийно выпускаемых гидростатических нивелиров. Однако эти гидронивелиры имеют ограниченный диапазон измеряемых превышений (2,5–20см) и поэтому могут быть использованы на относительно стабильных участках, т.е. с небольшой скоростью деформации, и когда первоначальные отметки реперов, по которым измеряется превышение, почти одинаковы. Имеется целый ряд других конструкций гидростатических нивелиров. В некоторых в качестве рабочей жидкости используется ртуть. Большинство из них в благоприятных условиях обеспечивают измерение превышений со средней квадратической ошибкой в пределах сотых долей миллиметров [2]. Для изучения медленных движений земной коры применяются еще более точные гидростатические нивелиры с учувствительностью 0,1–1 мкм, как правило, с автоматической регистрацией [2].

Клинометры, уровни и наклономеры. Для наблюдений за наклоном отдельных морфоэлементов оползневого склона могут быть использованы простейшие клинометры. Переносной клинометр, применяемый в СССР в гидротехническом строительстве, представляет собой высокочувствительный уровень с ампулой, цена деления которой $1'' - 2''$. Диапазон измерения наклона $0–3^{\circ}$. База, на которую периодически устанавливается прибор, закрепляется на морфоэлементе стационарно. Угол наклона определяется из двух полуприемов и с перекладкой между ними клинометра на 180°. Подобный прибор используется для наблюдений за оползневыми деформациями и в Японии. Переносной клинометр обеспечивает точность в измерении наклона в 0,5 с. Клинометр с электрическим преобразователем фирмы Саката, устанавливаемый стационарно, производит запись наклонов в пределах ±60 мин с точностью 5 с [24]. В США известны переносные наклономеры фирмы Синко с автоматической индикацией результата измерений на электронном табло [23].

В измерении небольших наклонов находят применение брусковые уровни. Обычно используются уровни с ценой деления ампулы $1'' - 4''$. Для установки высокоточных приборов – измерителей наклонов на оползневом склоне стационарно необходимо устройство специальных колодцев, в которых приборы (обычно 2–3 шт.) размещаются на бетонном основании. Для таких измерений используются кренометры и наклономеры. В изучении медленных движений земной поверхности, при строительстве крупных гидротехнических сооружений, для выявления предвестников землетрясений в СССР полу-

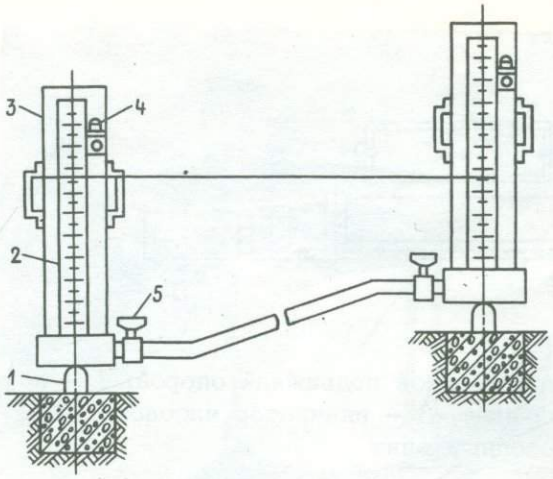


Рис. 7.7. Простейший переносной гидростатический нивелир
1 – репер, 2 – стеклянный цилиндр, 3 – рейка-держатель, 4 – круглый уровень, 5 – кран

Таблица 7.3

Основные технические характеристики некоторых гидростатических нивелиров, выпускаемых серийно

Параметры	УГС модель 115 (СССР)	НШТ (СССР)	Прибор Мейссера (ГДР)
Фиксация положения поверхности жидкости	Микрометренным винтом по поплавку		
Длина шкал измерительных элементов, мм	25	200	100
Цена деления, мм	0,01	0,1	0,01
Диапазон измерения превышений, мм	±25	±200	±100
Длина шланга, м	10	10	30
Средняя квадратическая погрешность одного измерения, мм	±0,01	±0,5	±0,02
Диаметр отверстия шланга, мм	10	10	9
Масса одной головки, кг	4,4	0,8	4
Масса прибора в рабочем состоянии, кг	12	3,5	12
Масса комплекта, кг	20	7	29

чили широкое распространение маятниковые наклономеры с фотоэлектрической регистрацией системы А.Е. Островского [11]. При небольших размерах прибора чувствительность измерений составляет 0,001 с на 1 мм записи. Чтобы исключить наклоны, вызываемые температурными напряжениями, и влияние температурных перепадов, приборы должны помещаться в глубокие шурфы (не менее 6 м).

Микронивелиры. Метод микронивелирования получил широкое распространение в последние годы в связи со строительством крупных инженерных сооружений, требующих повышенной точности в монтаже технологического оборудования. Средняя квадратическая ошибка измерений микронивелиром обычно составляет около 0,01 мм, но при этом реперы или марки должны находиться на расстоянии не более 1,5 м. Как правило, микронивелиры имеют основной уровень, располагаемый по линии измеряемых точек, и поперечный для устранения боковых наклонов прибора (рис. 7.8). Микронивелирование – простой и весьма эффективный способ определения превышений по близко расположенным друг к другу точкам, а также наклонов морфоэлементов. Оборудование для микронивелирования не требует больших затрат и может быть изготовлено в любой механической мастерской. Правильно организованные высокоточные наблюдения за изменением накло-

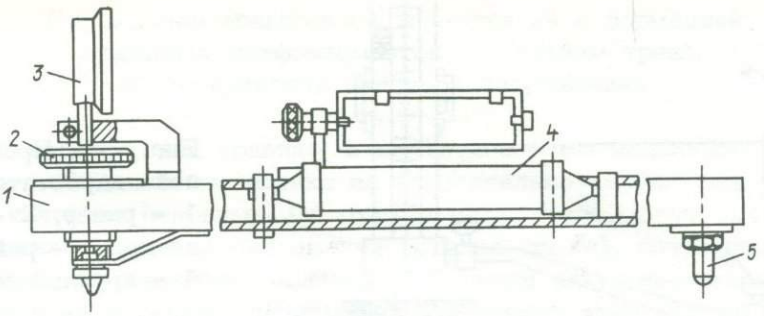


Рис. 7.8. Конструкция микронивелира с одной подвижной опорой: 1 – корпус микронивелира, 2 – микрометренный винт, 3 – индикатор часового типа, 4 – цилиндрический уровень, 5 – установочный винт

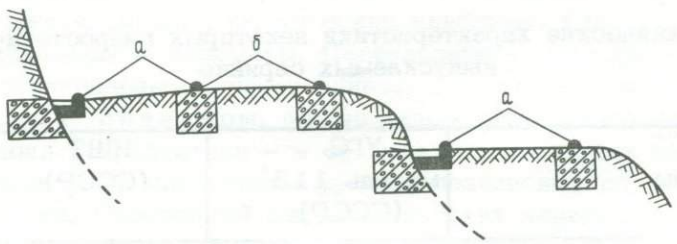


Рис. 7.9. Схема размещения реперов (марок) для микронивелирования на морфоэлементах оползневого склона

нов в характерных местах оползневого склона позволят получить информацию о подготовке оползневых смещений в скрытый период (рис.7.9).

Трещиномеры. В качестве переносных трещиномеров могут быть использованы как называемые мерные жезлы [10], которые подразделяются по системе отсчета на концевые, штриховые и штриховоконцевые. Жесткий концевой жезл может быть выполнен в виде инварного стержня с насадками из индикаторов часового типа по концам. Штриховые жезлы имеют на обоих концах стеклянные шкалы с миллиметровыми делениями и компараторные микроскопы для взятия отсчета. Нередко такие жезлы изготавливаются из кварца или кварцевых труб и используются также в качестве метров-эталонов. Кварцевые жезлы имеют коэффициент линейного расширения не более $5 \cdot 10^{-7}$ градус$^{-1}$, однако они хрупки. В геодезических измерениях между близкими точками чаще используются штриховые жезлы из инвара с точностью измерений при длине 1–3,5 м 20 мкм. В высокоточных геодезических измерениях применяются также жезлы с гибким мерным телом и мерные проволоки из инвара [10].

Обеспечение высокой точности измерений перечисленными выше приборами предусматривает: качественное изготовление базовых поверхностей реперов и марок, тщательную очистку их непосредственно перед измерениями от грязи, пыли и влаги; внесение температурных поправок в результаты измерений, учет влияния изменения атмосферного давления (для гидростатических нивелиров), периодическое компарирование приборов линейных измерений.

Для автоматической регистрации величин оползневых деформаций в СССР используется трещиномер, разработанный во ВСЕГИНГЕО [16]. Он представляет собой самопишущий прибор с элементом, связывающим базовые точки, в виде гибкой тяги (рис. 7.10).

Диапазон измеряемых перемещений практически неограничен при разрешающей способности 0,1 мм. Тип преобразователя перемещений гибкой тяги – кулачковый. Длительность безнадзорной работы устройства 7 суток. Гибкая тяга пропускается в защитных трубках, уложенных на поверхности склона в неглубокой канавке. Для обеспечения фиксации и вертикальных составляющих смещения на любом участке в пределах базы трещиномера удобно использовать в качестве защитных трубок рукав с подвижным швом, заключенный в отрезки пластмассовых или стальных трубок.

В чехословацком трещиномере типа ММП–120 стальная струна защищена телескопической трубкой [26]. Модель ММП–120 позволяет измерять смещения с точностью

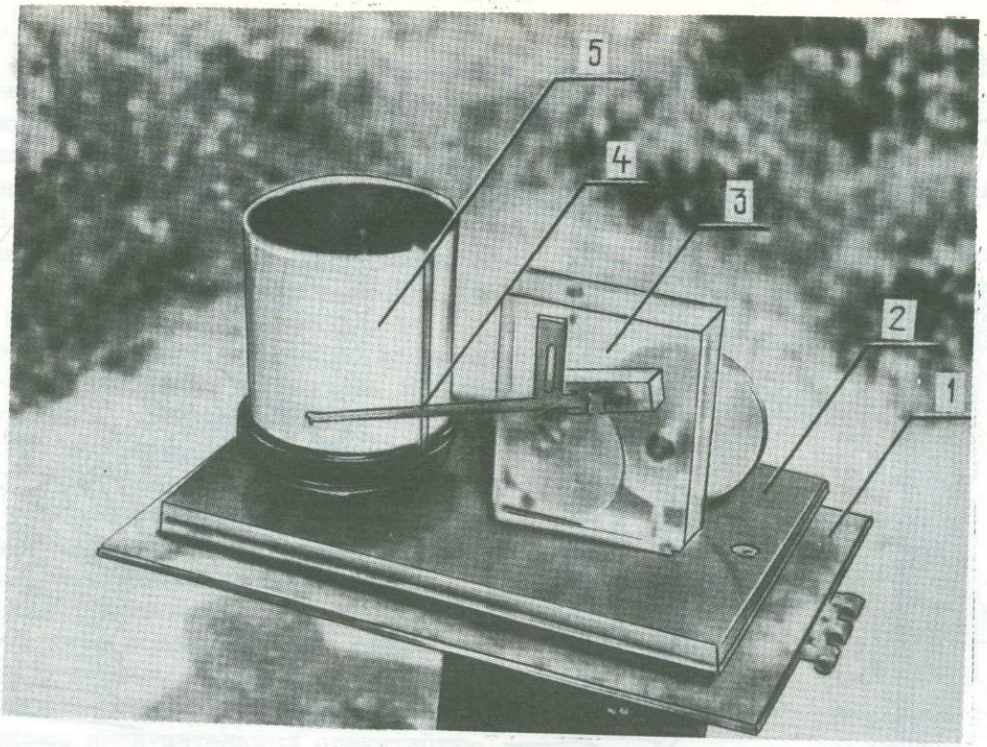


Рис. 7.10. Самопишущий прибор- трещиномер ВСЕГИНГЕО: 1 - оголовок трещиномера; 2 - плата прибора; 3 - стойка с преобразователем перемещений гибкой тяги (троса); 4 - пишущий рычаг; 5 - барабан с часовым механизмом

0,1 мм в диапазоне 0-120 мм. Измерительный прибор изготавливается в различных модификациях: показывающим, с цифровым регистратором и с непрерывной графической записью смещений в функции времени (модель ММП-120 Д).

Трещиномеры (экстензометры) широко используются для измерения оползневых смещений в различных странах. Известны конструкции трещиномеров, выпускаемые фирмами: Саката (Япония), Интерфелс (Австрия, ФРГ), Синко (США), Телемак (Франция), Боррос (Швеция) и др.

Изучение деформаций в массиве посредством глубинных реперов

Оползневые глубинные реперы - это устройства, предназначенные для определения наличия и величин смещений пород на различных горизонтах массива. Применение различных типов глубинных реперов позволяет решать следующие основные задачи: а) определение местоположения поверхности или зоны смещения; б) выявление характера деформаций (скольжение по поверхности в виде среза или пластическое течение) оползневого тела; в) измерение скоростей смещения различных горизонтов оползневого тела.

Первая задача может решаться посредством применения простейших глубинных реперов. Одним из них может быть шланговый репер. В скважину, обсаженную гибким шлангом, периодически вводится штанга или удлиненный груз, подвешенный на тросе. При искривлении шланга в зоне смещения штанга или груз останавливаются, определяя местоположение изогнутой части. В случае, если возможны несколько поверхностей смещения, используют второй груз, который постоянно находится на забое скважины и при измерении протаскивается тросом снизу вверх. В США было предложено подбором длины груза определять искривление шланга в зоне перегиба [27].

Другой простейший глубинный репер - электрический фиксатор смещения. Он представляет собой систему (косу) тонких одножильных медных проводов, из которых один нулевой центральный, а остальные - отводы от него с интервалом 0,5-1,0 м. Выполненная таким образом коса проводов помещается в буровую скважину, перекрывая горизонт с предполагаемой зоной оползневого смещения. Скважина заливается цементным

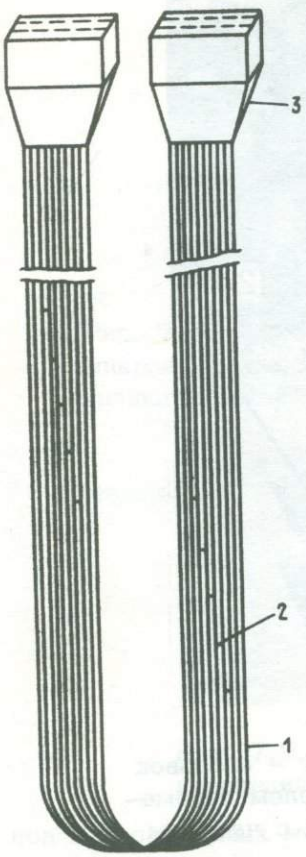


Рис. 7.11

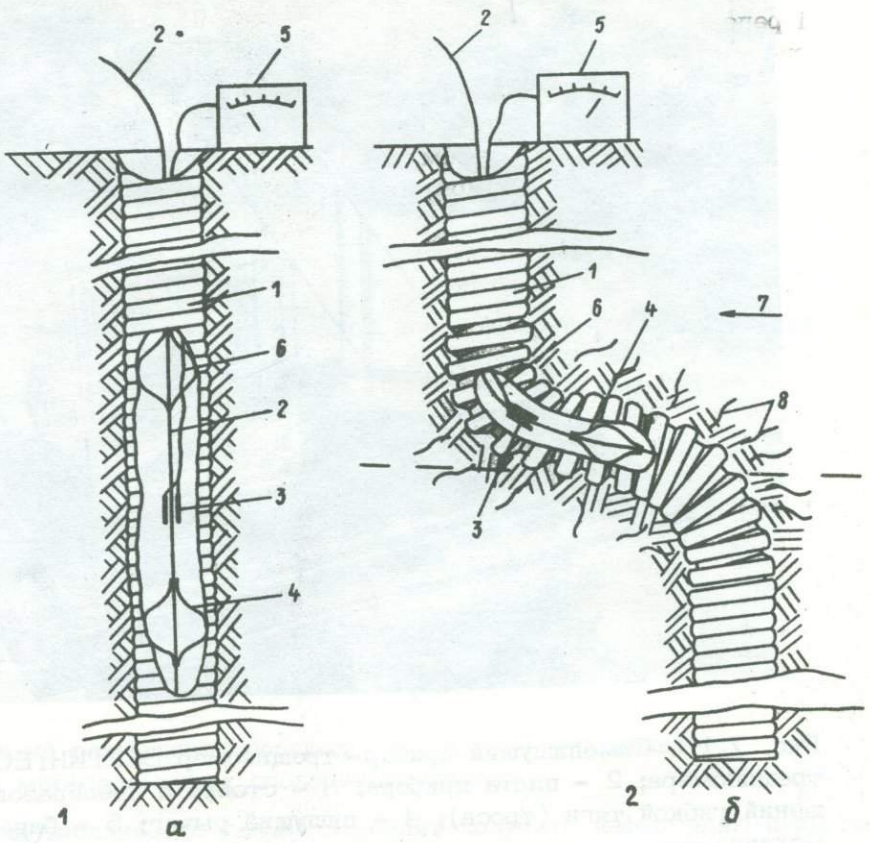


Рис. 7.12

Рис. 7.11. Устройство для определения местоположения поверхности скольжения оползня, применяемое в ЧССР: 1 – пластмассовая лента; 2 – перемычки, соединяющие провода, 3 – разъем для подсоединения измерительного прибора

Рис. 7.12. Принципиальная схема измерений посредством плоского тензометрического инклинометра ВСЕГИНГЕО: а – начальный момент после установки (при отсутствии смещения); б – положение инклинометра в зоне смещения оползня; 1 – рукав с подвижным швом; 2 – стальной упругий пруток; 3 – тензодатчики; 4 – направляющие, 5 – измеритель деформаций; 6 – провода; 7 – направление смещения; 8 – плоскость смещения

раствором, после схватывания которого образуется жесткий цементный столбик. Наблюдения производятся путем периодической проверки целостности электрической цепи между нулевым проводом и каждым отводом с помощью тестера или лампочки с батарейкой. Вследствие смещения оползня цементный столбик ломается, и все провода – отводы, находящиеся ниже излома, обрываются. Подобное устройство применяется и в ЧССР [26], где коса проводов, выполненная в виде изготавляемой индустриально пластмассовой ленты (рис. 7.11), устанавливается в пластмассовую трубку, опущенную в скважину, и затем заливается цементным раствором. Установка таких реперов в нескольких скважинах позволяет охватить все предполагаемые зоны смещения. Известно много способов измерения глубинных оползневых деформаций [5], однако наибольшее распространение в СССР и в других странах получили в основном два типа глубинных реперов: инклинометрический и тросовый.

Инклинометрический глубинный репер включает скважину, в которую установлена направляющая труба. Зазор между стенками трубы и скважины засыпается песком или цементируется. Изменение наклона трубы в каждом ее сечении во времени по сравнению с первоначальным положением определяется инклинометром, периодически опускаемым в трубу с определенным интервалом на кабеле с разметкой. Сигнал с чувствительного

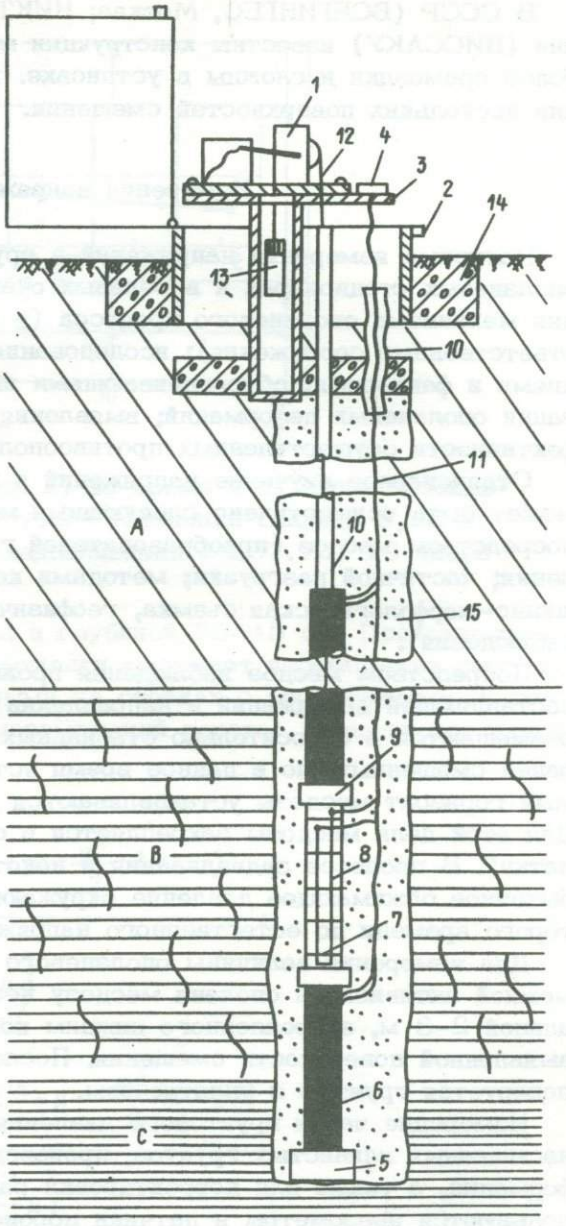


Рис. 7.13. Глубинный тросовый механический репер ВСЕГИНГЕО: 1 – самопишущий прибор; 2 – оголовок; 3 – плита для крепления прибора; 4 – разъем; 5 – анкер; 6 – защитная жесткая трубка с проточками и электропроводным контуром, 7 – проточка, 8 – электропроводный контур (снято покрытие), 9 – муфта; 10 – гибкая защитная трубка, 11 – кабель, 12 – тросик, 13 – груз с накопительным барабаном, 14 – бетонное крепление; 15 – песчаная засыпка; A – поверхностные отложения, B – деформирующийся глинистый горизонт; C – коренные несмещающиеся породы

элемента инклинометра передается по кабелю и фиксируется регистрирующей аппаратурой, размещенной на поверхности. Ориентация инклинометра в трубе осуществляется либо использованием специальных труб с пазами, по которым скользят направляющие ролики инклинометра, либо применением принудительных ориентирующих устройств в виде упругой ленты или гибкого валика. Существующие конструкции инклинометров, изготовляемые в различных странах, позволяют достичь точности измерения перемещений ±(5–20)мм на 30 м трубы. Более подробно сведения об инклинометрах приведены в работах С. Уилсона [23] и М. Фукуоки [24]. Диапазон измерений инклинометром обычно небольшой. В процессе смещения труба пережимается в зоне поверхности скольжения, и измерения прекращаются. Кроме того, использование сравнительно жестких пластмассовых, дюралевых или стальных труб несколько искажает действительный характер деформирования. Устранить этот недостаток, а также расширить диапазон измерений позволяет использование тензометрического плоского инклинометра ВСЕГИНГЕО (СССР) (рис. 7.12). В качестве направляющей трубы используется рукав с подвижным швом. Наличие люфта между соседними сечениями рукава дает возможность больших растягивающих деформаций в зоне смещения. Плоский инклинометр представляет собой стальную ленту (пруток), на нижнем конце которой наклеена пара тензодатчиков. Ориентация инклинометра задается с поверхности земли. Измерение показаний датчиков производится измерителем деформаций типа ИДЦ-1 (с питанием от батарей напряжением 12 в). Имеется программа для ЭВМ, в которой на печать выдаются величины деформаций в массиве с шагом по глубине 0,2 м.

Если инклинометрические глубинные реперы все же рассчитаны на сравнительно небольшой диапазон глубинных деформаций, то тросовый репер конструкции ВСЕГИНГЕО (СССР) позволяет производить измерение деформации в практически неограниченном диапазоне с высокой чувствительностью. В качестве регистратора в тросовом репере используется тот же самопишущий прибор, как и в трещиномере на рис. 7.10. Груз обеспечивает постоянное натяжение троса (рис. 7.13) и запас его на накопительном барабане. Местоположение зоны смещения определяется по обрыву электропроводного контура на защитной трубке с проточками. Величина перемещения определяется с чувствительностью 0,1 мм.

5386

В СССР (ВСЕГИНГЕО, Москва; НИКТИГХ, Киев), в ЧССР (ВУГИ, Брно) и в Японии (НИССАКУ) известны конструкции многосекционных тросовых реперов. Однако, они более громоздки и сложны в установке. Более целесообразно их использовать при наличии нескольких поверхностей смещения.

Измерения напряжений в грунтовом массиве

Натурные измерения напряжений в грунтовом массиве при изучении оползней на оползневых стационарах и в селевых очагах применяются для: более детального изучения механизма оползневого процесса (в сложных случаях, а также при изысканиях под ответственные сооружения); исследования взаимосвязей между напряжениями, деформациями и факторами, обусловливающими их изменение; выявления предвестников активизации оползневых деформаций; выявления оползнеопасных участков склона и оценки эффективности осуществленных противооползневых мероприятий.

Стационарное изучение напряжений в глинистых породах, слагающих оползневой склон, может быть осуществлено следующими методами: измерением нормальных напряжений посредством месдоз (преобразователей грунтового давления); измерением порового давления; частичной разгрузки; методами косвенной оценки напряженного состояния (трещинно-морфологическая съемка, геофизические сейсморазведочные и геоакустические наблюдения).

Посредством месдоз наблюдения производятся преимущественно за горизонтальной составляющей напряжений в направлении ожидаемого оползневого смещения. Месдозы размещаются в относительно стабильных массивах склона: выше стенки срыва или в ранее смещенных, но в данное время устойчивых частях оползневого тела. На требуемый горизонт месдозы устанавливаются задавливанием с забоя скважины на 0,5–0,8 м. Для этой цели месдозы закрепляется в специальном снаряде, выполненным в виде "лопатки". В процессе задавливания и некоторый период после него датчик испытывает избыточное обжимающее давление окружающего грунта, релаксирующееся в течение некоторого времени до естественного напряженного состояния (рис. 7.14).

Для измерения величины оползневого давления, а также для определения начала возможной активизации оползня месдозу необходимо крепить к верхней части патрубка длиной 2–3 м, закрепленного нижним концом на 1–1,5 м в несмещаемых породах, ниже выявленной поверхности смещения. После установки месдозы скважина тщательно тампонируется грунтом с уплотнением.

Измерение части грунтового давления, обусловленного давлением поровых вод водонасыщенных глинистых грунтов, производится для прогноза активизации оползневых деформаций, а также для корректировки расчетов устойчивости склона. Для этой цели используются пьезометры и датчики порового давления. Пьезометр порового давления представляет собой пластмассовую трубку диаметром 10–20 мм, соединяющую пористый наконечник, установленный на требуемом горизонте вблизи поверхности смещения, с поверхностью земли. В области пористого наконечника скважина засыпается песком, а выше тампонируется глиняными шариками для обеспечения изоляции пористого наконечника от водоносного горизонта и поверхностных вод. После установки трубка заливается водой до существующего уровня грунтовых вод. Измерение уровня воды в пьезометре производится электроконтактным уровнемером. Вследствие известной инерционности изменений уровня воды пьезометром порового давления рекомендуется использовать его на достаточно водообильных склонах.

В датчиках порового давления давление поровой воды передается через пористый фильтр на мембрану и преобразуется в электрический сигнал. При этом используются струнные, трансформаторные, индуктивные, тензорезисторные и другие преобразователи.

Метод частичной разгрузки используется для выявления оползнеопасных участков (мест, где формируются оползневые трещины растяжения), для оценки состояния оползневого склона и эффективности осуществленных противооползневых мероприятий. Сущность метода заключается в следующем. На выбранном участке склона расчищается горизонтальная площадка (для определения горизонтальных составляющих напряжений), на которой на взаимно перпендикулярных лучах на расстоянии 20–40 см от центра пересечения лучей забиваются на глубину 30–40 см реперы (4–8 шт.). В месте пересечения

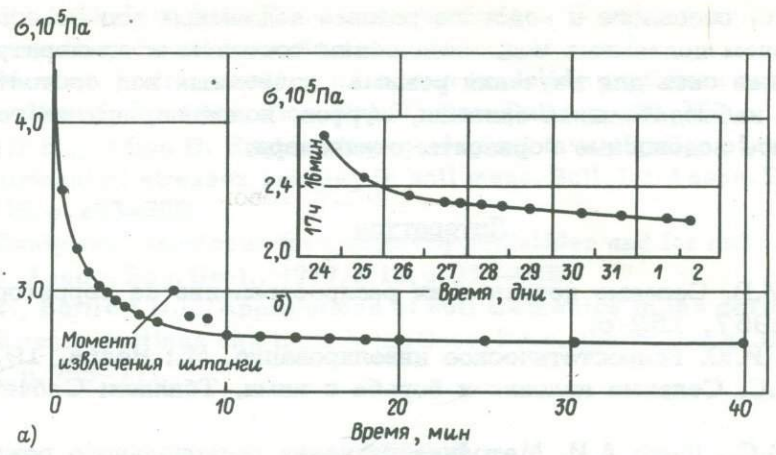


Рис. 7.14. График релаксации напряжений а) во время и б) после задавливания датчика в лессовидные суглинки. Глубина установки снаряда 9,12 м (глубина задавливания 1,07 м). Начало задавливания 24.07.72, 16 часов 36 минут.

лучей проходят скважину диаметром 20–25 см и глубиной 35–45 см. Происходящая при этом разгрузка напряжений в основании площадки вызывает перемещение реперов, которые измеряются индикаторами, закрепленными на стойках с кронштейнами, в течение двух часов. По измеренным величинам перемещений реперов вычисляются напряжения, действующие в искомых направлениях.

Напряжения вычисляются по формулам:

$$\sigma_1 = \frac{2Er\Delta r_2\left[-3+\mu+\frac{a^2}{r^2}(1+\mu)\right]-2Er\Delta r_1\left[5+\mu-\frac{a^2}{r^2}(1-\mu)\right]}{4a^2\left(-4+\frac{a^2}{r^2}\right)\left(1+\mu+\frac{a^2}{r^2}\mu\right)};$$

$$\sigma_2 = \frac{2Er\Delta r_1\left[-3+\mu+\frac{a^2}{r^2}(1+\mu)\right]-2Er\Delta r_2\left[5+\mu-\frac{a^2}{r^2}(1-\mu)\right]}{4a^2\left(-4+\frac{a^2}{r^2}\right)\left(1+\mu+\frac{a^2}{r^2}\mu\right)},$$

где σ_1 и σ_2 – горизонтальные напряжения, действующие соответственно вдоль створа и перпендикулярно ему; E – модуль общей деформации грунта; μ – коэффициент поперечного расширения; a – радиус скважины; r – расстояние от точки измерения до центра разгрузочной скважины; Δp_1 и Δp_2 – величины смещений, где за положительные принимаются деформации, направленные к центру разгрузочной скважины.

Методом частичной разгрузки определяются напряжения как на поверхности склона, так и в горных выработках (шурфах, штольнях, галлереях и т.п.). Имеется успешный опыт применения этого метода в ЧССР и в СССР для оценки состояния склона и отдельных его частей [15, 25] и выявления участков склона, где готовится развитие оползней [14].

Изучение режима подземных вод

Наблюдения за режимом подземных вод на опорных оползневых и селевых стационарах проводятся с целью: уточнения гидрогеологической схемы опорного участка, выявления условий питания подземных вод и взаимосвязи между отдельными водоносными горизонтами, изучения закономерностей режима подземных вод и его влияния на развитие оползневого и селевого процесса. При этом обеспечивается выявление законо-

мерностей суточного, сезонного и годового режима подземных вод на основе данных наблюдений за уровнем подземных вод, химическим составом и температурой.

Гидрогеологическая сеть для изучения режима подземных вод состоит из каптированных источников, наблюдательных скважин, шурфов, колодцев, других горных выработок и охватывает все водоносные горизонты стационара.

Литература

1. Боголюбова И.В. Селевые потоки и их распространение на территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1957, 152 с.
2. Васютинский И.Ю. Гидростатическое нивелирование. М.: Недра, 1976, 167 с.
3. Гагошидзе М.С. Селевые явления и борьба с ними. Тбилиси: Сабчета Сакартвело, 1970, 284 с.
4. Круподеров В.С., Шеко А.И. Методика изучения регионального режима экзогенных геологических процессов. "Методы изучен. режима и прогноза экзоген. геол. процессов". Тбилиси: 1980, с. 42–46.
5. Кошевой О.П. Современное состояние методов и средств измерения глубинных оползневых деформаций. Обзор ВИЭМС сер. гидрогеол. и инж. геология. М.: 1973.
6. Лехатинов А.М. Дендрологический метод установления времени и периодичности прохождения селевых потоков. "Вестн. МГУ," сер. геогр. № 2, 1967, с. 140–142
7. Лехатинов А.М. Сели. "Соврем. геол. процессы на Черномор. побережье СССР". М: Недра, 1976, с. 107–121.
8. Лехатинов А.М. Дендрохронологические методы прогнозирования экзогенных рельефообразующих процессов. "Климат, рельеф и деят-сть человека." М.: Наука, 1981, с. 248–255.
9. Методическое руководство по изучению селей. М.: Недра, 1970, 164 с.
10. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве. Ред. В.Д. Большаков. М.: Недра, 1976, 335 с.
11. Островский А.Е. Деформации земной коры по наблюдениям наклономеров. М.: Наука, 1978, 184 с.
12. Перов В.Ф. Селевые потоки Хибинского горного массива. "Вестн. МГУ", сер. геогр. № 1, 1966, с. 130–133.
13. Перов В.Ф. Опыт использования дендрохронологического метода для изучения селей Хибин. "Фитоиндикац. методы в гляциологии". М.: 1971, с. 42–49.
14. Постоев Г.П., Круглов А.В., Баранов Д.С. Опыт натурного изучения напряженного состояния оползневых склонов. "Теоретич. и методич. проблемы повышения качества и эффективности инж.-геол. иссл-ний." Тезисы докл. Всесоюзн. конф. Ростов-на-Дону: 1980, Изд-во Рост. инж.-строит. ин-та, с. 91–94.
15. Постоев Г.П., Круглов А.В. Особенности методики натурного измерения напряжений в породах с поверхности оползневых склонов методом частичной разгрузки. Труды ВСЕГИНГЕО, 1980, вып. 134, с. 31–39.
16. Постоев Г.П., Круглов А.В. Оползневой деформограф ВСЕГИНГЕО. М.: ВСЕГИНГЕО 1982, 11 с.
17. Руководство по изучению селевых потоков. Л.: Гидрометеоиздат, 1976, 144 с.
18. Турманина В.И. Количественная оценка селеносности бассейна по растительности. "Селев. потоки и горн. руслов. процессы". Ереван: Изд-во АН Арм.ССР, 1968, с. 305–309.
19. Турманина В.И. Влияние на растительность внутривековых ритмов увлажненности. Ритмы и цикличность в природе. "Вопросы географии", 1979, № 79, с. 105–110.
20. Флейшман С.М. Сели. Л.: Гидрометеоиздат, 1978, 312 с.
21. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. М.: Недра, 1980, 296 с.
22. Шеко А.И., Лехатинов А.М., Онготоев А.Р. Методика комплексного изучения экзогенных геологических процессов зоны БАМа и составления специальных инженерно-геологических карт. ВСЕГИНГЕО, 1981, 8 с.

23. Wilson S.D., Mikkelsen P.E. Field instrumentation. "Landslides. Analysis and control. Chapter 5." Transp. Res. Board Spec. Rept. 176, 1978, p.112–138.

24. Fukuoka Masami. Instrumentation: its role in landslide prediction and control. "Int. Symp. Landslides. New Delhi. 1980. Proc. Vol.2". New Delhi, p. 139–153.

25. Fussgänger E., Jadron D. Engineering–geological investigation of the Oxolicne landslide using measurement of stresses existing in soil mass. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., Krefeld, 1977, № 16, p. 203–209.

26. Hickl J. Equipment developed for measuring landslides and for indicationg the plane of sliding. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., 1977, № 16, p. 217–218.

27. Toms A.H., Bartlett D.L. Applications of soil mechanics in the design of stabilizing works for embankments, cuttings and track formations. Proc., Institution of Civil Engineers, London, 21, 1962, p. 705–711.

Глава 8

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ О РЕЖИМЕ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ

1. Общие положения

Под рядами, последовательностями или цепями, по мнению Д. Девиса (1), понимаются "данные, которые могут быть охарактеризованы непрерывным расположением в пространстве или времени". В инженерной геодинамике временные ряды следует рассматривать как последовательные числовые значения, характеризующие изменения состояний элементов (компонентов) системы ЭГП во времени. При этом должны быть соблюдены два основных условия: изменения состояния выбранного объекта должны характеризоваться через равные промежутки времени и описываться одним и тем же параметром или показателем. При выполнении этих условий ряды могут рассматриваться как однородные количественные данные.

2. Классификация временных рядов оползней и селей

При рассмотрении временных рядов как количественных характеристик изменчивости процессов, отдельных их элементов или компонент временные ряды можно классифицировать с различных позиций. По генетическому признаку выделяются три основные группы рядов, имеющие принципиальное значение для прогнозирования: 1) характеризующие развитие процессов; 2) характеризующие режим факторов процессов; 3) ряды изменения (динамики) различных индикаторов процессов и факторов, их определяющих, получаемые при анализе древесных спилов (дендрометод), тонкослоистых ритмичных отложений типа ленточных глин и др. (рис. 8.1). Ряды первой и второй групп могут использоваться для составления различных видов прогнозов: краткосрочных, долгосрочных, региональных, локальных и т.д. Они разнообразны по характеру, структуре, репрезентативности, могут состоять из абсолютных и относительных значений параметров или показателей, характеризовать различные по площади территории (от региона до отдельной формы проявления). Ряды третьей группы используются только при региональном долгосрочном прогнозировании, являются относительной, косвенной характеристикой изменения активности процессов или их факторов. Преимуществом временных рядов третьей группы является значительная их продолжительность – от нескольких сотен лет до нескольких тысяч и даже более. Временные ряды первой и второй групп по шагу ряда (интервал времени между соседними значениями) разделяются на две подгруппы, характеризующие многолетние изменения процессов или факторов и внутригодовые. Во второй подгруппе выделяются ряды, описывающие суточные, месячные, сезонные изменения. Ряды первых подгрупп (первой и второй групп) являются основой долгосрочных прогнозов, ряды вторых – краткосрочных и текущих, а также основой выделения процессопасных сезонов.

Ряды первой подгруппы первой группы в зависимости от площади, охватываемой характеризуемыми изменениями, разделяются на региональные и локальные. Временные

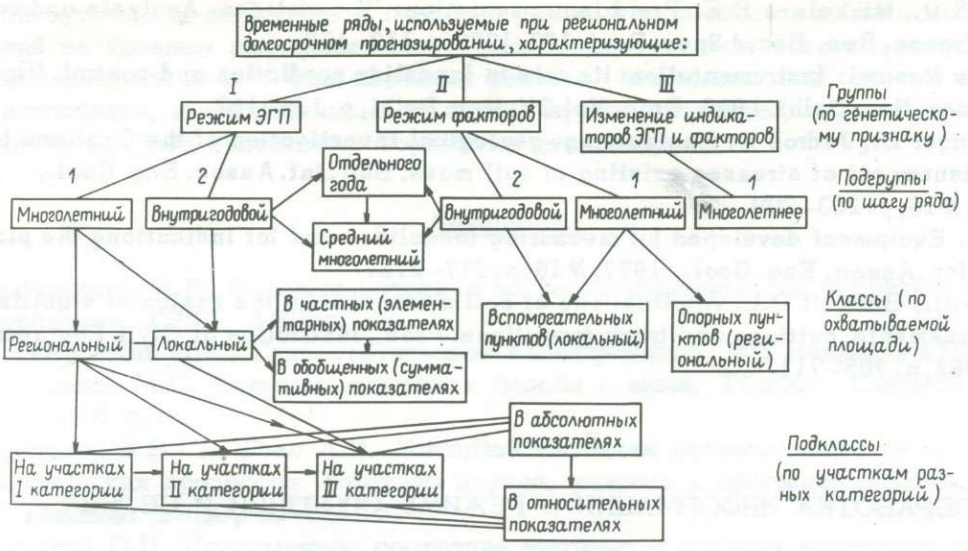


Рис. 8.1. Схема классификации временных рядов, используемых при изучении режима и прогнозе оползней и селей

ряды регионального развития ЭГП характеризуют изменение активности множества форм проявлений процессов различных по площади территорий; ряды локального развития – активность отдельной формы проявления процесса или даже какой-то ее части. Ряды, описывающие региональные изменения активности процессов, в свою очередь, подразделяются на три категории, характеризующие режим: а) участков первой категории (см. рис. 7.2); б) участков второй категории; в)участков третьей категории. Эти ряды используются для составления региональных долгосрочных прогнозов. Ряды развития процессов подразделяются на две разновидности частных показателей или параметров и обобщенных. Как уже отмечалось, частные показатели и их ряды являются характеристикой развития отдельных форм процессов или какой-либо их части или элемента. Основное их назначение – это характеристика механизма процесса, его кинематики, динамики отдельных элементов форм проявления. Как правило, самостоятельно эти ряды для прогнозирования не используются, на их основании составляются ряды обобщенных показателей. Таким образом, ряды частных показателей являются как бы первичными, промежуточными при прогнозировании, исходными данными для подготовки обобщенных рядов. Аналогом выделения таких двух разновидностей рядов является существование частных и обобщенных показателей свойств пород при переходе от показателей свойств отдельных образцов к таковым пород и далее массивов.

По такому же принципу (площади охватываемой территории) подразделяются временные ряды первой подгруппы второй группы, характеризующие режим факторов. Среди них выделяются ряды многолетнего режима опорных и вспомогательных пунктов. Первые характеризуют наиболее типичный многолетний режим данной территории, а поэтому являются репрезентативными для выделенного региона. По ним составляются долговременные региональные прогнозы. Вторые выполняют вспомогательную функцию и служат для уточнения границ временных зон, выделенных по режиму изменяющихся факторов. Замыкающими классификацию временных рядов процессов являются их разновидности, выделенные по способу выражения: в абсолютных или относительных значениях параметров. Дело в том, что развитие процессов региона в целом, участков I и II категорий, в частности, в пределах которых могут быть различные генетические типы процессов с несопоставимыми по величине значениями активности, может характеризоваться только относительными показателями (см. рис. 7.2). Поэтому на основании временных рядов развития процессов, представленных абсолютными значениями активности процессов, получаемых при режимных наблюдениях, составляются ряды относительных значений, характеризующих развитие различных генетических типов процессов в целом по данному региону.

3. Составление временных рядов оползней и селей по результатам режимных наблюдений

Временные ряды процессов являются наиболее важным исходным материалом при прогнозировании. Опыт показывает, что достоверность прогнозов, составленных на основе рядов процессов, выше, чем на основе рядов факторов. Кроме того, ряды процессов не только характеризуют развитие процессов во времени, но и дают представление о их механизме.

В соответствии с классификацией временных рядов, используемых при прогнозировании процессов, группа рядов процессов подразделяется по интервалу времени на подгруппы, характеризующие многолетнее и внутригодовое развитие процессов. Ряды, характеризующие внутригодовой режим процессов, составляются на основе режимных наблюдений. Соответственно частоте наблюдений составляются ряды с различными интервалами между соседними значениями. Наиболее характерными и часто встречающимися являются ряды месячных значений активности проявления процессов. При большей частоте наблюдений, а также при фиксировании непрерывных изменений активности процессов могут составляться ряды декадных и суточных значений [4]. Такие ряды являются элементарными по отношению к рядам с большим шагом. На их основании путем суммирования могут составляться ряды месячных, сезонных и годовых значений активности проявления процессов. Ряды, характеризующие внутригодовое развитие оползней или селей, могут быть полными (за весь год) или же за какой-либо период (сезон) года, наиболее активный в отношении проявления процессов. Ряды внутригодового режима являются основой для выявления процессоопасных сезонов.

Ряды, характеризующие многолетнее развитие ЭГП, составляются или на основании данных о внутригодовом режиме при суммировании, как это уже отмечалось, элементарных рядов, или на основании режимных наблюдений с частотой не реже одного раза в год. Естественно, что во всех случаях речь идет об однородных рядах, т.е. рядах значений изменения однотипных показателей или параметров активности проявления процессов.

По площади, охватываемой характеризуемыми изменениями, выделяются ряды локального и регионального развития ЭГП. В первом случае, как правило, имеется в виду элементарная форма проявления процесса – отдельный оползень, селевой водоток, реже – небольшой по площади участок с несколькими формами проявления процесса, четко ограниченный по определенным критериям – оползневой склон в каких-либо породах, очаг зарождения селей. Ряды, характеризующие локальное развитие процессов, подразделяются на ряды частных (элементарных) показателей и ряды обобщенных (суммативных) показателей. Частные показатели характеризуют динамику отдельных частей или элементов различных форм проявления процессов. Для оползней – это величина смещения отдельных блоков, для селей – количество и объем сформировавшихся селевых потоков. Ряды частных показателей составляются для отдельных реперов или реперных створов. Самостоятельного значения при прогнозировании они не имеют и служат для составления рядов обобщенных показателей. Обобщение же данных по всем реперам дает представительную характеристику активности, не подверженную случайным отклонениям. На основании рядов частных показателей возможно выявление некоторых особенностей механизма процесса. Например, для оползней можно установить наиболее активные из блоков, выявить дифференцированный характер движения. Ряды обобщенных показателей используются для составления локальных прогнозов, а также для получения рядов, характеризующих региональное развитие процессов.

Временные ряды, характеризующие региональную активность проявления оползней и селей, являются наиболее сложными по структуре, разноуровневыми соответственно участкам различных категорий, составляющих региональную режимную сеть. Ряды, характеризующие региональное развитие процессов, получаются при проведении режимных наблюдений на специально организованной опорной сети, состоящей из участков трех категорий (см. гл. 7). Система временных рядов региональной активности процессов подчиняется иерархическому признаку. На самой низкой, первичной ступени находятся ряды, характеризующие активность проявления процессов на участках III категории. Они являются элементарными, неделимыми по отношению к более сложным, составным рядам участков второй и первой категорий, а также рядам собственно регионального ре-

5386

жима. Это ряды, характеризующие активность развития отдельных (элементарных) форм проявления процессов, выражаемую различными показателями. Для оползневых процессов – величина смещения оползня, объем сместившихся масс, увеличение площади оползня, количество отчленившихся блоков и т.д.; для селей – количество прошедших селей, суммарный объем селей. На основании режимных наблюдений на участках третьей категории первоначально составляются ряды показателей активности проявления процессов в абсолютных величинах, затем на основании этих рядов получаются ряды относительных значений показателей активности развития процессов. Такие ряды необходимы для сравнительной характеристики активности проявления различных генетических разновидностей процессов, а также для подготовки и составления обобщенных рядов. Совершенно очевидно, что нельзя сравнивать активность проявления, например, оползней-потоков и блоковых оползней, выраженную в абсолютных значениях, так как первые на порядок динамичнее. Для того, чтобы сделать сопоставимыми активности того и другого процессов, надо выразить их в относительных величинах (в долях или процентах по отношению к максимальному или среднему значению активности). Тогда, суммируя относительные величины активности различных по механизму оползней, можно охарактеризовать активность проявления оползневого процесса на данной территории. Собственно, даже оползни, одинаковые по механизму, могут значительно отличаться в амплитуде смещения. Временные ряды, характеризующие развитие процессов на участках второй категории, составляются как на основании режимных наблюдений, так и при обобщении рядов по участкам третьей категории в относительных величинах, входящих в данный участок.

Показатели активности проявления процессов на участках второй категории являются более общими. Для оползневых процессов – это количество активизировавшихся оползней или увеличение площади, пораженной оползнями, селевых – количество прошедших селей. Ряды, составленные по данным режимных наблюдений, абсолютных значений показателей активности, переводятся в ряды относительных величин. Это необходимо, для того, чтобы иметь возможность сравнивать данные об активности, полученные по результатам непосредственных наблюдений по участку второй категории в целом, со значением активности, определенным по участкам третьей категории путем суммирования. На основании рядов развития процессов по участкам второй категории в относительных величинах составляются ряды по участкам первой категории. Временные ряды участков первой категории оставляются также на основании непосредственных режимных наблюдений. Используемые при этом показатели активности являются наиболее общими. Для оползневых процессов – это количество вновь сформировавшихся оползней или количество активизировавшихся; для селей – количество водотоков со следами прохождения селей. Временные ряды по участкам первой категории являются уже основой для составления региональных долговременных прогнозов, так как участки этой категории представляют временную зону, характеризующуюся определенным режимом процессов и факторов их определяющих.

Составление временных рядов активизации селей и оползней при отсутствии наблюденных данных

Восстановление рядов проявления при условии полного или частичного отсутствия данных наблюдения за режимом развития селей и оползней производится фитоиндикационными методами (гл. 7). Фитоценотическими индикаторами выделяются участки для проведения дендрохронологических и лихенометрических исследований. Возрастной дендроиндикацией определяются наиболее вероятные даты, фиксируемые анализом деревьев. Исходная дата временного ряда устанавливается анализом возраста перестойных или зрелых деревьев, растущих на старых селевых, оползневых отложениях. Она выбирается сопоставлением их между собой, и за начальную принимается наибольший возраст, дублируемый несколькими модельными деревьями. Затем производится приращение временного ряда набором последовательных дат, устанавливаемых наиболее точными индикаторами, по схеме: деформационная + радиальная + побеговая + травматическая + + кустарниково-жердевая + порослевая. Полученные данные ранжируются в ряд, при этом дублирующиеся даты не подвергаются дальнейшему уточнению. По результатам деформационного, радиального и побегового анализа составляется предварительный вре-

менной ряд из основных дат, фиксирующих наиболее редкие и очень мощные проявления селей и оползней.

Предварительный временной ряд окончательно корректируется результатами травматического, кустарниково-жердевого и порослевого анализа.

Травматической дендроиндикацией, как наиболее точной из всех перечисленных, восстанавливаются даты схода катастрофических селей. Время прохождения селей слабой и средней мощности, особенно при корректировке второй половины временного ряда, восстанавливается результатами кустарниково-жердевой и порослевой индикаций. Последняя позволяет установить самые поздние даты по временному ряду. Точность датировки достигается учетом лесовозобновления пневым или семенным путем. Семенное восстановление может запаздывать из-за грансостава субстрата (на отложениях водокаменных селей она появляется через 1-3 года). Порослевый анализ режима селей дополняет конец ряда датами, которые не фиксируются другими методами. Например, на р. Начвал (Кавказ, СССР), по возрасту поросли черной ольхи и кустарников было установлено, что сели слабой мощности формируются ежегодно или через год, а средний - через 2-4 года. По р. Начвал сели прошли в 1955, 1956, 1958, 1959, 1963, 1965, 1967, 1968, 1970 гг. Годы прохождения мощных селей были определены травматической дендроиндикацией.

В тех регионах, где имеются отрывочные наблюденные данные по режиму проявления селей и оползней, временные ряды реконструируются на основании учета этих данных. При этом фактическими результатами проверяется сходимость дат, восстановленных дендрометодами. Повторяющиеся даты принимаются как наиболее достоверные, а ряды, составленные по ним, правильными. Так, для бассейна р. Ставлухар (Юго-Восточный Крым) составлен временный ряд проявления мощных селей с 1928 по 1971г. (максимальный возраст древесных насаждений на селевых выносах) с уточнением его результатами фактических наблюдений. Сели по р. Ставлухар прошли в 1931, 1935, 1938, 1941, 1943, 1945, 1947, 1948, 1952, 1954, 1957, 1958, 1960, 1962, 1965, 1968 и 1971 гг. Средняя частота схода селей составляет 2-3 года, минимальная - 1 год (1947, 1948, 1957-1958 гг.) и максимальная - 4 года (1931, 1935, 1948-1952 гг.). Из них сели последних лет - 1958, 1960, 1965, 1968 и 1971 гг. были фактически зарегистрированы. Хорошая сходимость восстановленных дат показывает высокую правомерность используемого дендрометода. Совместно с М.Л. Васильевым дополнен временной ряд схода селей по водотокам Юго-Восточного склона Баргузинского (предварительный ряд был составлен А.М. Лехатиновым в 1965 г.) и восстановлен для селевых бассейнов Кичерского хребтов зоны БАМ (СССР). За последние 130-140 лет (средний возраст изучаемых деревьев) на Баргузинском хребте прошло 12 катастрофических селей в 1899, 1911, 1918, 1922, 1933, 1950, 1952, 1954, 1962, 1967, 1972, 1976 гг. На Прибайкальском склоне Кичерского хребта сели, деформировавшие деревья, прошли в 1933, 1952, 1967, 1972, 1976 гг. По реконструированным временным рядам составлен долговременный прогноз активизации селей при условии отсутствия данных наблюдений за режимом их активизации (зона БАМ).

4. Анализ временных рядов

Для анализа временных рядов используется комплекс методов, включающий анализ: а) интегральных кривых аномалий экзогенных геологических процессов (оползней и селей) и факторов; б) анализ по частям 11-летнего солнечного цикла; в) корреляционно-регрессионный и гармонический анализы.

Анализ интегральных кривых аномалий

Наиболее простым способом выявления вековой тенденции в развитии экзогенных геологических процессов, в том числе оползневых и селевых, и факторов, их обусловливающих, является сопоставление и совместный анализ интегральных кривых их аномалий. Сопоставление этих кривых с интегральными кривыми аномалий солнечной активности и макроформ атмосферной циркуляции позволяет выявить закономерности их изменения во времени и определить тенденцию их дальнейшего развития. Этот метод в настоящее

5386

время широко применяется в различных отраслях естествознания для анализа временных рядов.

Для построения интегральных кривых аномалий модульных коэффициентов целесообразно использовать длинные временные ряды (70–100 лет). Построение интегральной кривой начинается с определения среднего арифметического значения (математического ожидания) временного ряда:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n},$$

где n – число членов временного ряда. Далее определяются отклонения от среднего или аномалий Δx для каждого члена временного ряда:

$$\Delta x = x_i - \bar{x},$$

где Δx – аномалии; x_i – значение i –го члена временного ряда. В связи с тем, что относительные величины лучше отражают изменения переменных во времени, определяются центрированные значения:

$$z_i = \frac{\Delta x}{\bar{x}},$$

где z_1 – относительное значение аномалий (или аномалии модульных коэффициентов).

Полученные аномалии модульных коэффициентов последовательно суммируются с учетом их знака и в результате получается новый временной ряд. Точность расчетов определяется конечным результатом суммирования аномалий. При отсутствии ошибок в вычислениях окончательная сумма должна быть равной "0". В результате округления при ручном расчете она несколько отличается от "0".

Рассмотрим несколько примеров применения метода интегральных кривых аномалий для анализа проявления процессов и факторов, их обусловливающих. В первой части монографии уже были приведены интегральные кривые аномалий модульных коэффициентов селевой активности (количества селей в году) для Средней Азии (СССР) с 1885 по 1972 г. (Средняя Азия в целом, Правобережье Сырдарьи, Копетдаг, северный склон Заилийского Алатау) и Кавказа с 1880 по 1972 г. (Кавказ в целом, Кавказ без Армении и отдельно Армянская ССР).

Как уже отмечалось, из приведенных графиков (рис. 3.11) следует, что общий ход интегральных кривых аномалий селей для всех регионов одинаков и совпадает в общем с ходом интегральных кривых аномалий солнечной активности. При этом к эпохе векового минимума аномалий солнечной активности также приурочены эпохи повышенных положительных аномалий селевой активности. Особенно резко выражен максимум на интегральной кривой для регионов Средней Азии, за исключением северного склона Заилийского Алатау. Максимум на данной кривой приходится на 1934 г., т.е. совпадает с вековым минимумом интегральной кривой аномалий солнечной активности. На интегральной кривой аномалий селевой активности для Туркмении этот максимум приходится на 1940–1941 гг., т.е. сдвинут на полфазы 11-летнего солнечного цикла и приурочен к максимуму 17-го солнечного цикла. Эти максимумы на интегральных кривых аномалий селевой активности совпадают, в общем, с увеличением аномалий числа дней с макроформой E атмосферной циркуляции и ослаблением макроформы W (по Вангенгейму–Гирсу).

На Кавказе характер интегральных кривых отличается от вышеописанных. Вековой минимум в этом регионе проявляется позже, в 1948–1949 гг. [1,4].

На ветвях роста и спада интегральных кривых селевой активности наблюдаются многочисленные максимумы и перегибы. Все они обычно приурочены к переломам в аномалиях солнечной активности. Особенно четко эта зависимость проявилась для бассейна р. Сырдарьи.

На рис. 8.2 изображены интегральные кривые аномалий числа оползней на Одесском побережье Черного моря (СССР), солнечной активности в числах Вольфа и различных типов макроформ атмосферной циркуляции по Вангенгейму. Сопоставление этих графи-

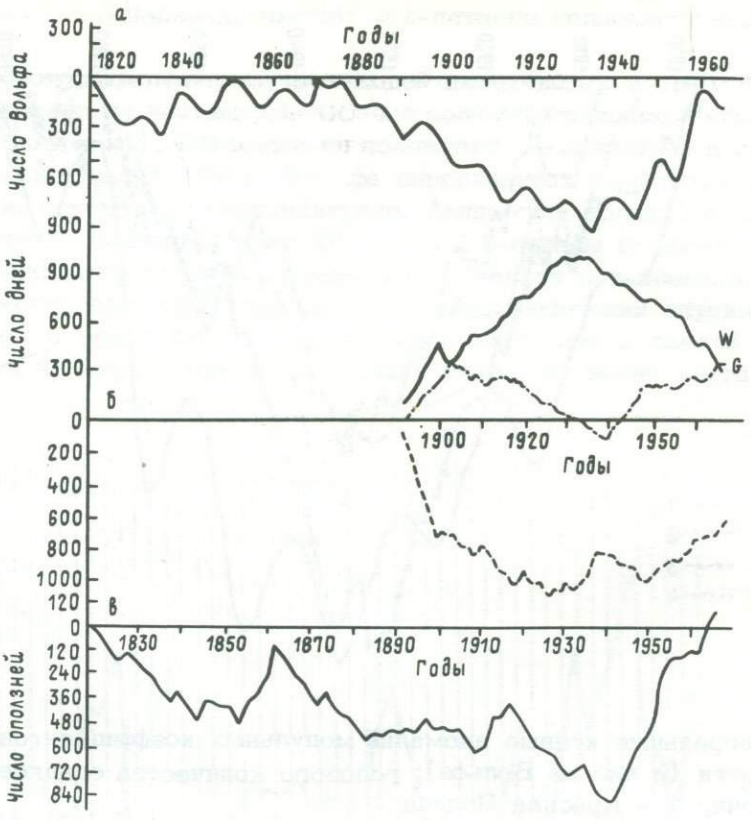


Рис. 8.2. Интегральные кривые аномалий модульных коэффициентов солнечной активности в числах Вольфа (а), типов макроформ атмосферной циркуляции по Вангенгейму (б), числа оползней в районе Одессы по Ю.Г. Баландину (в)

ков показывает, что их ход имеет сходные тенденции, и в первом приближении можно считать, что в вековом разрезе эпохи максимального усиления активизации оползневых процессов соответствуют эпохам максимальной солнечной активности. При этом минимум на интегральной кривой аномалий числа оползней наступает несколько позже (1942 г.) по отношению к вековому минимуму на интегральной кривой аномалий чисел Вольфа (1935 г.). Период с 1942 г. характеризуется сильной активизацией оползневых процессов на Одесском побережье. Сравнение интегральных кривых аномалий проявления оползней с интегральными кривыми аномалий различных типов макроформ атмосферной циркуляции позволяет подметить общую тенденцию активизации оползневых процессов с типом макроформы *C* по Вангенгейму, а обратная зависимость прослеживается с типом макроформы *W*.

На рис. 8.3 и 8.4 приведено сопоставление интегральных кривых аномалий годового количества осадков в разных районах советского побережья Черного моря и солнечной активности. Из этих графиков видно, что режим увлажненности северо-западных и крымских берегов Черного моря отличается от режима увлажненности кавказских берегов. На Кавказском побережье ход интегральных кривых аномалий годового количества осадков в вековом разрезе хорошо согласуется с ходом интегральной кривой аномалий солнечной активности. На ветвях спада и роста интегральных кривых аномалий годового количества осадков нечетко намечаются два максимума с пиками в 1912-1914 гг. и в 1943-1947 гг. Мелкие максимумы на ветвях спада интегральных кривых годового количества осадков в большинстве случаев соответствуют или тяготеют к эпохам минимума 11-летнего цикла на интегральных кривых аномалий солнечной активности; на ветвях роста, наоборот, большая часть положительных экстремумов соответствует эпохам максимумов 11-летнего цикла.

В Крыму взаимоотношения между интегральными кривыми аномалий годового количества осадков и солнечной активностью более сложные, и не наблюдается такого чет-

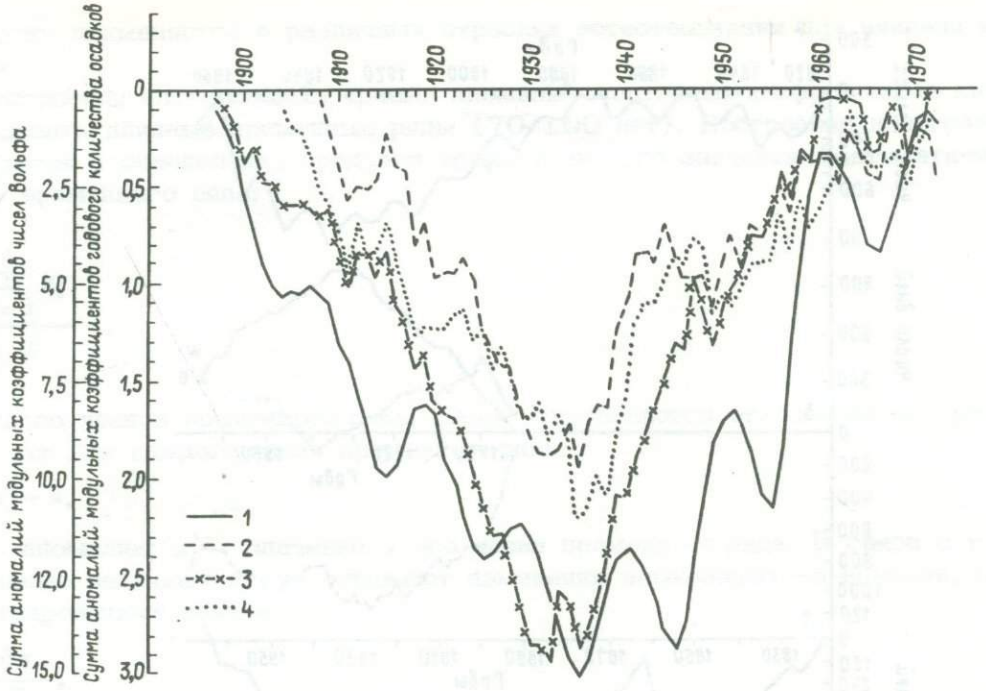


Рис. 8.3. Интегральные кривые аномалий модульных коэффициентов: 1 – солнечной активности (в числах Вольфа); годового количества осадков (в мм): 2– Сухуми, 3 – Сочи, 4 – Красная Поляна

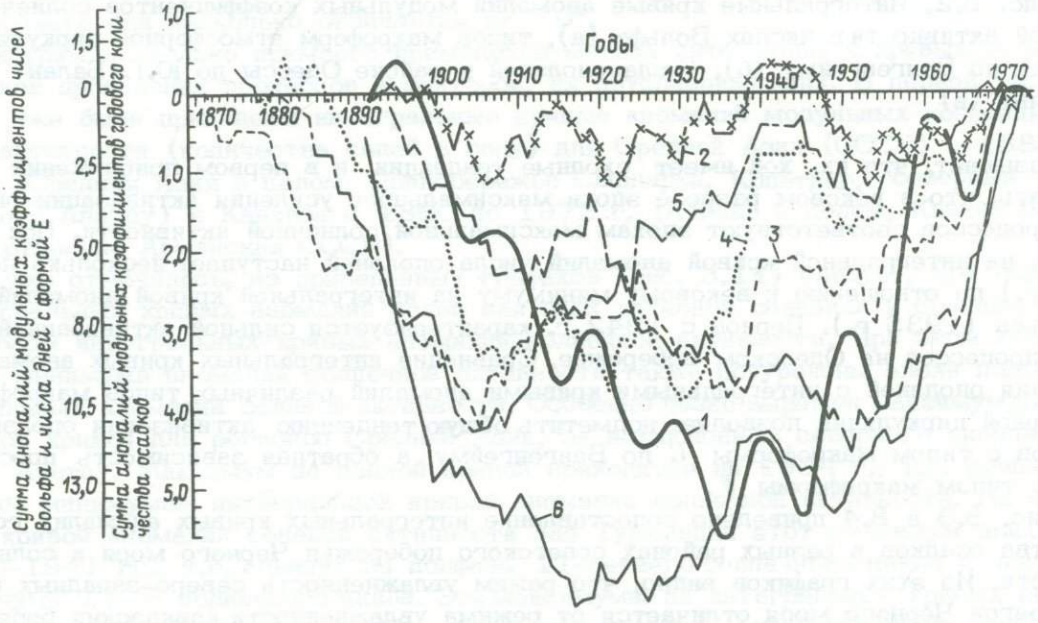


Рис. 8.4. Интегральные кривые аномалий модульных коэффициентов: 1 – солнечной активности (в числах Вольфа). Годового количества осадков (в мм): 2 – Евпатория, 3 – Ялта, 4 – Феодосия, 5 – Керчь, 6 – Одесса, числа дней с типом Е атмосферной циркуляции по Вангенгейму

кого соответствия хода интегральных кривых осадков с интегральной кривой солнечной активности.

Для Одессы интегральная кривая аномалий годового количества осадков в общем виде сходна с аналогичными кривыми для Кавказского побережья.

Анализ по частям 11-летнего солнечного цикла

Простым способом выявления внутривековой цикличности в связи с солнечной активностью является анализ по частям 11-летнего солнечного цикла. Методика этого анализа разработана А.И. Шеко [4]. Основные ее положения заключаются в следующем.

На графике среднегодовых чисел Вольфа определяется максимум. Из точек максимума на ось времени опускается перпендикуляр. Амплитуда солнечной активности (максимальное среднегодовое значение чисел Вольфа в 11-летнем солнечном цикле) делится пополам и с середины проводится прямая, параллельная оси времени, до пересечения с кривой хода среднегодовых чисел Вольфа. С точки пересечения опускается перпендикуляр на ось времени и определяется (округленно) число лет в каждой четверти (ЧА). Порядок нумерации четвертей принят от начала цикла: на ветви роста находятся I и II,

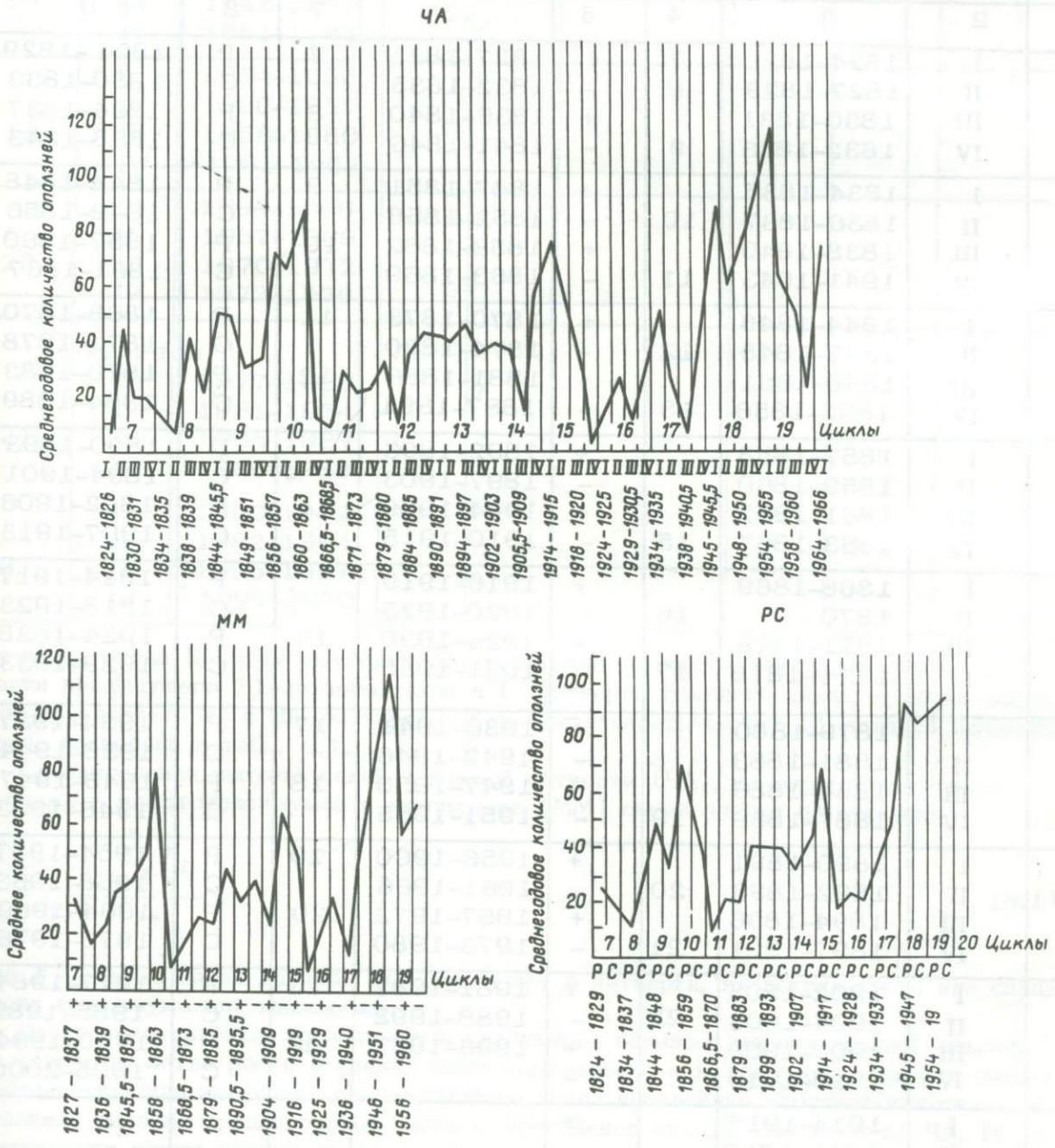


Рис. 8.5. Графики проявления оползневых процессов на Одесском побережье по частям 11-летнего солнечного цикла. ЧА – по четвертям 11-летнего цикла, римские цифры обозначают четверть; ММ – по максимумам и минимумам, знак "плюс" – означает максимум, знак "минус" – минимум; РС – по ветвям роста и спада, Р – ветвь роста, С – ветвь спада

Таблица 8.1

Продолжительность частей 11-летних солнечных циклов, рассчитанная по методике А.И. Шеко

по четвертям – ЧА		Максимум и минимум – ММ				Ветвям роста и спада РС		
№ солнечных циклов	№ четверти	Годы	№ солн. цикла	Макс. + Мин. –	Годы	№ солн. цикла	Ветви Р-рос-та С-спада	Годы
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	I	1824-1826	7	+	1827-1831	7	P	1824-1829
	II	1827-1829	8	–	1832-1835		C	1830-1833
7	III	1830-1831		+	1836-1840	8	P	1834-1837
	IV	1832-1833	9	–	1841-1846		C	1838-1843
	I	1834-1835		+	1847-1851	9	P	1844-1848
	II	1836-1837	10	–	1852-1858		C	1849-1856
8	III	1838-1840		+	1859-1862	10	P	1857-1860
	IV	1941-1943	11	–	1863-1869		C	1861-1867
	I	1844-1846		+	1870-1873	11	P	1868-1870
	II	1847-1848	12	–	1874-1880		C	1871-1878
9	III	1849-1851		+	1881-1886	12	P	1879-1883
	IV	1852-1856	13	–	1887-1891		C	1884-1889
	I	1857-1858		+	1892-1896		P	1890-1893
10	II	1859-1860		–	1897-1903		C	1894-1901
	III	1861-1862		+	1904-1909	14	P	1892-1906
	IV	1863-1867	15	–	1910-1915		C	1907-1913
	I	1868-1869		+	1916-1919		P	1914-1917
	II	1870	16	–	1920-1925		C	1918-1923
11	III	1871-1873		+	1926-1930	16	P	1924-1928
	IV	1874-1878	17	–	1931-1935		C	1929-1933
	I	1879-1880		+	1936-1941	17	P	1934-1937
	II	1881-1883	18	–	1942-1946		C	1938-1944
12	III	1884-1886		+	1947-1950	18	P	1945-1947
	IV	1887-1889	19	–	1951-1955		C	1948-1953
	I	1890-1891		+	1956-1960	19	P	1954-1957
	II	1892-1893	20	–	1961-1966		C	1958-1963
	III	1894-1896		+	1967-1972	20	P	1964-1969
13	IV	1897-1901	21	–	1973-1980		C	1970-1976
	I	1902-1903		+	1981-1987	21	P	1977-1984
	II	1904-1906	22	–	1988-1992		C	1985-1989
14	III	1907-1909		+	1993-1997	22	P	1990-1994
	IV	1910-1913		–			C	1995-2000
15	I	1914-1915		+				
	II	1916-1917		–				
	III	1918-1919		+				
	IV	1921-1923		–				
	I	1924-1925		+				
	II	1926-1928		–				

Продолжение табл. 8.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	III	1929-1930		+				
	IV	1931-1933		-				
17	I	1934-1935						
	II	1936-1937						
	III	1938-1941						
	IV	1942-1944						
18	I	1945-1946						
	II	1947						
	III	1948-1950						
	IV	1951-1943						
19	I	1954-1955						
	II	1956-1957						
	III	1958-1960						
	IV	1961-1963						
20	I	1964-1966						
	II	1967-1969						
	III	1970-1972						
	IV	1973-1976						
Прогноз								
21	I	1977-1980						
	II	1981-1984						
	III	1985-1987						
	IV	1988-1989						
22	I	1990-1992						
	II	1992-1994						
	III	1995-1997						
	IV	1997-2000						

на ветви спада III и IV четверти. Эпоха минимума определяется как сумма IV четверти предыдущего 11-летнего цикла и I четверти текущего цикла, а эпоха максимумов объединяет II и III четверти. Продолжительность частей 11-летнего солнечного цикла приведена в табл. 8.1.

Среднегодовая частота селей в каждой четверти (ЧА), на ветви роста и спада (РС), а также в эпохи максимумов и минимумов (ММ) определяется по формуле:

$$P_{\text{ср.}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{n}, \qquad (8.1)$$

где P_i – число селей за год; n – число лет в четверти, на ветвях роста или спада, в эпохи максимума или минимума.

Построение графиков производится следующим образом: на оси абсцисс откладываются четверти, ветви роста и спада, эпохи максимумов и минимумов, а на оси ординат – соответствующие значения среднегодового числа проявления оползней или селей. В результате анализа среднегодовой частоты проявления оползней и селей по ЧА, РС и ММ выявляются циклы разных порядков. Характеристика циклов разных порядков для селей приведена в первой части монографии (см. гл. 3). Порядок циклов активности проявления экзогенных геологических процессов определяется их продолжительностью и положением экстремумов в различных частях 11-летнего солнечного цикла. На рис. 8.5 приведены графики проявления оползней по частям 11-летнего солнечного цикла для Одесского

5386

побережья Черного моря. Из анализа этих графиков следует, что максимумы активизации проявления оползневых процессов по четвертям распределялись следующим образом: из 17 случаев в 1 четверти было 8, во II – 5, в III – 3, в IV – 1. При этом следует обратить внимание на то, что почти все выдающиеся минимальные экстремумы активизации оползней приурочены к I четвертям следующих циклов: 10, 15, 18, 19. Анализ графиков ММ и РС показывает, что из восьми случаев семь (вероятность 0,88) приходится на эпохи минимумов солнечной активности и из девяти случаев (вероятность 0,78) – на ветви роста 11-летних солнечных циклов. На графике ЧА хорошо выражены 5 циклов первого порядка; их продолжительность соответственно равна 6; 4-6; 8-9; 6-8;7-8 лет. На тех же графиках выделено 10 циклов второго порядка с продолжительностью: 10-11; 12; 7-8; 10-11; 8; 12; 12-13; 11; 9; 10-11 лет. На графике ММ хорошо выделяются циклы третьего порядка. Их продолжительность изменяется от 20 до 28 лет. На том же графике выявляются циклы и более высоких порядков: четвертого (40-42 года), пятого (58 лет) и векового. Продолжительность последнего по ЧА и ММ составляет 92-94 года, по РС – 88-89 лет. При сопоставлении графиков активизации оползневых процессов по частям 11-летнего солнечного цикла с графиком солнечной активности следует обратить внимание на то, что первая эпоха сильной активизации оползневых процессов приурочена к 9 и 10 циклам (с максимумом в цикле 10), вторая – циклу 15, третья – к циклам 18 и 19. Первая и третья эпохи активизации оползневых процессов на Одесском побережье приурочены к эпохам максимумов векового солнечного цикла, а вторая – тяготеет к эпохе минимума.

Корреляционно-регрессионный анализ

Для оценки количественной связи между проявлением оползней и селей, с одной стороны, и факторами, их определяющими, с другой, применяется корреляционный анализ. При этом предусматривается решение следующих задач:

а) выявления связей между проявлением оползневых и селевых процессов и факторами, определяющими их развитие;

б) экстраполяция активности селевых и оползневых процессов на заданный срок на основании выявленных закономерностей;

в) выявление инерционности (запаздывания) проявления оползневых и селевых процессов по отношению к факторам, их определяющим;

г) подтверждение наличия цикличности в рядах проявления оползней, селей и факторов, их определяющих;

д) выявление тесноты связей в режиме факторов при районировании территории по условиям развития оползней и селей;

е) восполнение пропущенных членов ряда и удлинение рядов наблюдений за факторами на вспомогательных станциях путем их расчета по данным опорных станций, располагающих длинными рядами наблюдений.

Корреляционно-регрессионный анализ выполняется для установления связей между оползневым или селевым процессами и каким-либо фактором (парная корреляция), а также для выявления ведущих основных факторов и установления корреляции между оползнями и селями, с одной стороны, и суммарным действием всех факторов, с другой (множественная корреляция). При множественной корреляции следует, по возможности, избегать включать в уравнение корреляционных функций зависимые между собой факторы. В противном случае это приводит к большому объему вычислительных работ, но не повышает значения коэффициента множественной корреляции. Установление корреляционных связей в ряде случаев следует начинать с построения корреляционных точечных графиков по методике, изложенной в работе И.С. Комарова [2].

На рис. 8.6 приведены графики зависимости числа селей в году от аномалий числа дней с различными типами макроформ атмосферной циркуляции по Вангенгейму для рядов Кавказа без Армении и Средней Азии в целом (СССР). Как видно из табл. 8.2, степень достоверности связей проявления селей с типами макроформ W и E составляет 90%, только с типом C она меньше 95%.

Более высокие значения коэффициентов корреляции между изучаемыми явлениями часто наблюдаются с некоторым сдвигом, что отражает инерционность проявления селей и

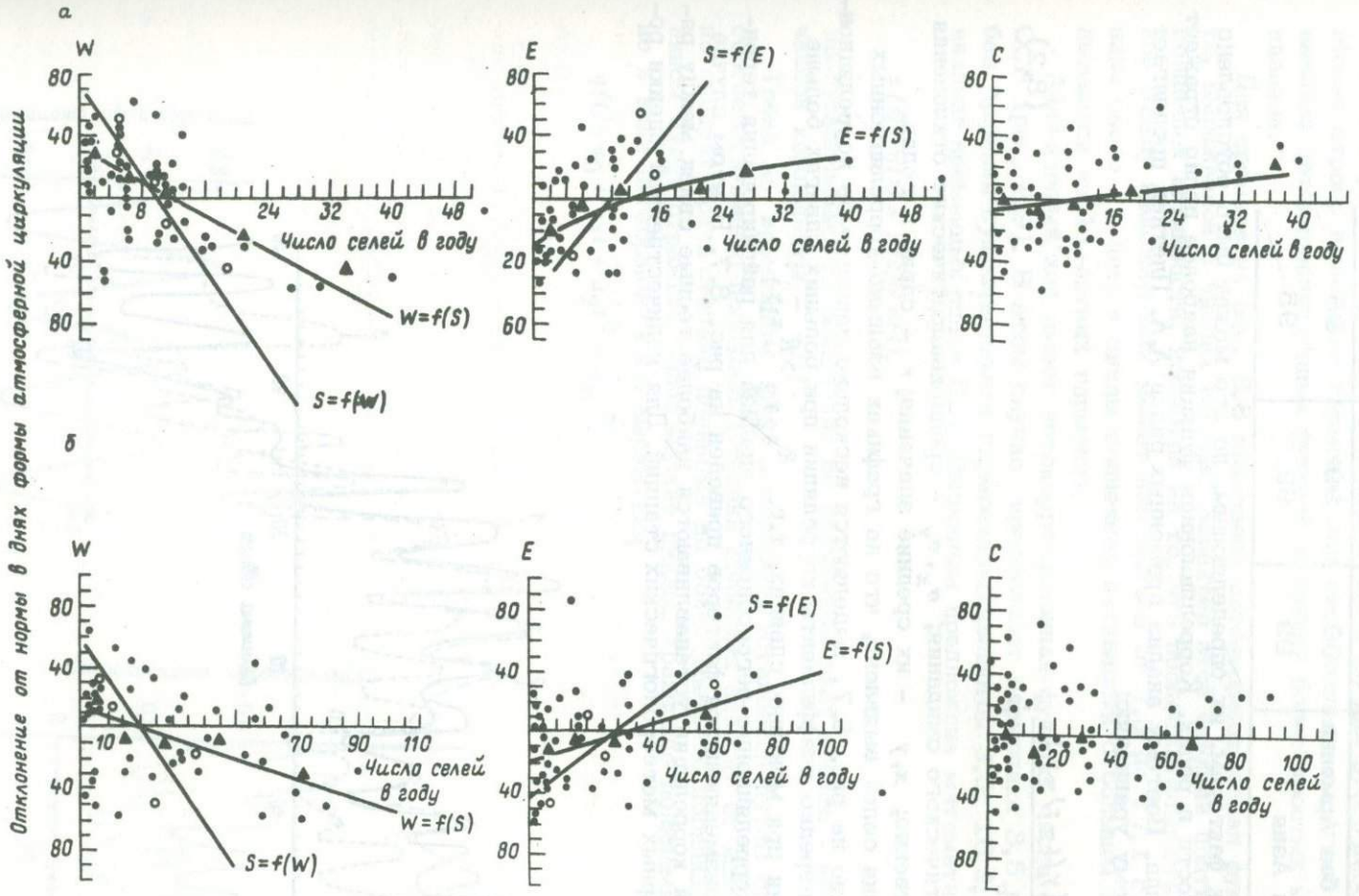


Рис. 8.6. Графики зависимости числа селей в году от аномалий числа дней с различными типами макроформ атмосферной циркуляции по Вангенгейму для Кавказа без Армении (а) и Средней Азии (б); S – сели; E, C – типы макроформ атмосферной циркуляции по Вангенгейму. Черные треугольники и кружочки – медианные значения по интервалам

Таблица 8.2

Достоверность связи между проявлением селей и различными типами макроформ атмосферной циркуляции по Вангенгейму, %

Регионы	Типы макроформ		
	W, %	E, %	C, %
Кавказ без Армении	99	99	95
Средняя Азия	99	99	95

оползней по отношению к факторам, их определяющим, но это может быть обусловлено также наличием цикличности в рядах. Корреляционная функция наиболее полно отражает структуру временного ряда. Поэтому анализ временных рядов А.А. Плетнев предлагает производить по следующему уравнению:

$$R_{xy}(\tau) = \frac{M[x(t)-x][y(t-\tau)-y]}{\sigma_x - \sigma_y}, \qquad (8.2)$$

где M – символ математического ожидания; σ_x, σ_y – среднеквадратические отклонения $x(t)$ и $y(t)$ соответственно; x, y – их средние значения; τ – сдвиг в годах.

На примере проявления селей выявлено, что на графиках взаимно-корреляционных функций, как это показано на рис. 8.7, выделяются несколько максимумов корреляционной функции. При этом нередко коэффициенты корреляции при больших сдвигах больше коэффициентов корреляции при меньших сдвигах, т.е. $R_{x_2y_2} > R_{x_1y_1}$.

Пример применения корреляционно-регрессионного анализа для районирования территории по режиму быстроизменяющихся факторов приведен на рис. 8.7. В этом случае по схеме множественной корреляции устанавливаются наиболее тесные связи между рядами факторов всех опорных метеорологических станций. Для количественной оценки ро-

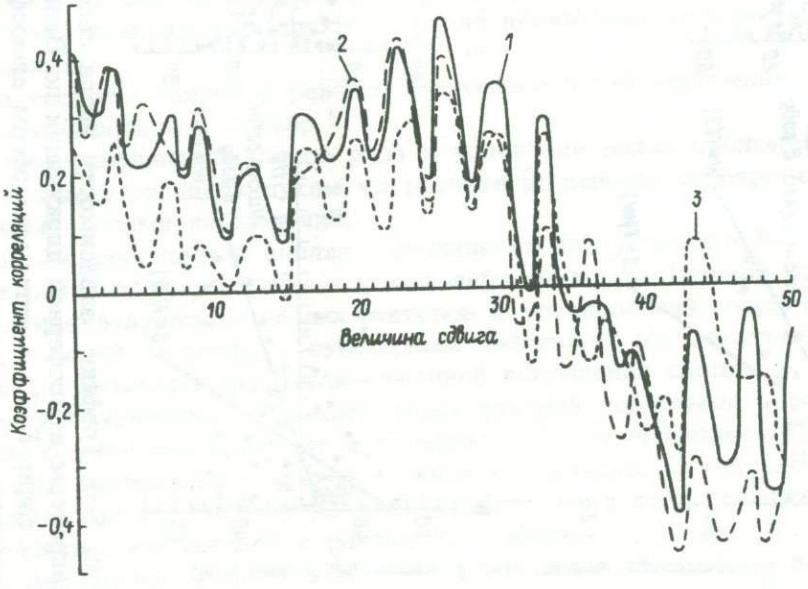


Рис. 8.7. Корреляционные функции между количеством селей в году и числом дней с типом E макроформы атмосферной циркуляции по Вангенгейму за период 1891-1971 гг.: 1 – правобережье Сырдарьи и бассейна р. Нарына; 2 – Копетдаг; 3 – северный склон Заилийского Алатау

ли быстроизменяющихся факторов и для учета их совместного воздействия на развитие оползневых процессов Н.С. Сергеевой был использован метод множественной линейной корреляции с применением критерия Дарбина и Уотсона, который будет описан в третьей части монографии.

Гармонический анализ

Наиболее строгое выделение гармоник разного порядка производится на основе анализа спектральных функций и периодограмм, но для этого необходимы длинные ряды. Менее строго выделение гармоник для относительно коротких рядов можно делать путем анализа автокорреляционных функций и других более простых моделей гармонического анализа.

Для примера на рис. 8.8 приведена автокорреляционная функция солнечной активности, выраженной в числах Вольфа. Характер этой функции подтверждает вывод, что в солнечной активности, несмотря на то, что продолжительность отдельных солнечных циклов между максимумами может изменяться от 7,3 до 17,1 года, преобладает гармоника около 11 лет, и циклы солнечной активности с большей продолжительностью складываются из 11-летних гармоник.

Аналогичный ход имеет автокорреляционная функция числа селей в году в Армянской ССР (рис. 8.9). В этом случае преобладает гармоника 3,5 года, а для ряда Кавказа без Армении существенными гармониками являются 3,5; 10,5; 14 лет и 26 лет. Для анализа временных рядов В.И. Пыркиным предложена математическая модель вида

$$x(t) = \eta(t) + z(t) + \varepsilon(t), \qquad (8.3)$$

предусматривающая выделение во временном ряду тренда – $\eta(t)$, циклов $z(t)$ и случайной компоненты – $\varepsilon(t)$.

Тренд во временном ряду может быть установлен путем сглаживания или подбора соответствующего полинома. Степень полинома зависит от изменчивости ряда, но обычно следует брать степень полинома не более третьего порядка. В противном случае полином будет отражать более мелкие циклы. Уравнение полинома может быть представлено в виде алгебраического выражения

$$\eta(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_m t^m. \qquad (8.4)$$

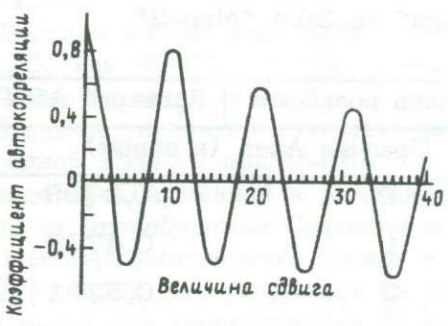


Рис. 8.8. Автокорреляционная функция чисел Вольфа (1891-1972)

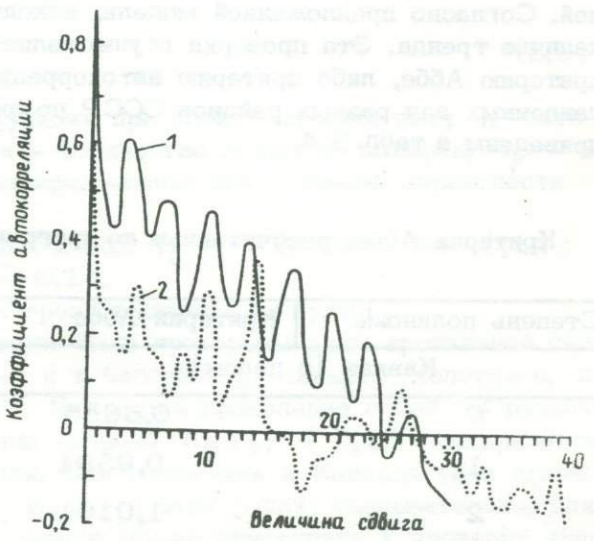


Рис. 8.9. Автокорреляционная функция количества селей в Армении – 1 и на Кавказе (без Армении) – 2

Таблица 8.3

Проверка на наличие тренда с помощью критерия смены знака или скачков (по районам СССР)

Ряды для районов	$\hat{n}$	$\bar{n}$	u	ε_u	V_u	z_u	$z_{табл.}$	Тренд.
Средняя Азия в целом	22	29	11	26	12	-4,4	±1,96	Есть
Бассейн Сырдарьи и Нарына	19	32	16	25	10,6	-2,7	±1,96	- " -
Копетдаг	22	29	21	26	12	-1,47	±1,96	Нет
Заилийский Алатау	24	27	16	26,4	11,6	-3,0	±1,96	Есть
Куршаб, Талдык, Акбура	26	25	15	26	12,6	-3,14	±1,96	- " -
Северный склон Туркестанского хребта	21	30	14	24,3	11,3	3	±1,96	Нет
Кавказ в целом	20	31	18	24,3	11,3	-1,85	±1,96	Есть
Кавказ без Армении	20	31	12	24,3	11,3	-3,9	±1,96	- " -
Армения	21	30	17	25,7	11,7	-2,5	±1,96	- " -
Бассейн Каспийского моря	22	29	18	26	12	-3,4	1,96	- " -

После выделения из ряда $x(t)$ тренда производится выделение существенных гармоник. Остаточный ряд представляет собой случайную компоненту $\varepsilon(t)$, для которой определяется автокорреляционная зависимость. Если таковой в остаточной компоненте не наблюдается, то определяется закон ее распределения и доверительные интервалы.

Окончательный вид модели может быть записан в следующем виде:

$$x(t) = Q_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \ldots + a_m t^m + \sum_{n=1}^{P} A_n \cos\left(\frac{2\pi}{T_n} t - \varphi_n\right) + \varepsilon t. \qquad (8,5)$$

Выявление цикличности на основе гармонического анализа показано на примере селей. Согласно предложенной модели, исходный временной ряд проверяется сначала на наличие тренда. Эта проверка осуществляется по критерию смены знака и скачков, или критерию Аббе, либо критерию автокорреляции. Результаты проверки рядов селей, составленных для разных районов СССР по критерию смены знака с достоверностью 0,95 приведены в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Критерии Аббе, рассчитанные по программе "Тренд" на ЭВМ "Мир-2"

Степень полинома	Критерий Аббе	Степень полинома	Критерий Аббе
Кавказ (в целом)		Средняя Азия (в целом)	
0	0,6655	0	0,3799
1	0,9391	1	0,4779
2	1,0161	2	0,5291
3	1,1137	3	0,5625
4	1,1769	4	0,7167

Эмпирическое значение критерия Аббе для ряда 51 год рассчитывалось на ЭВМ. Наличие тренда определялось по сравнению расчетной величины Аббе с табличной. Если

расчетная величина критерия Аббе меньше или равна табличному значению, то тренд есть. Для ряда 51 год табличное значение критерия Аббе составляет 0,6713. Порядок полинома определяется числом, которому соответствует следующее значение, превышающее 0,6713. В качестве примера в табл. 8.4 приведены значения критерия Аббе для рядов Кавказа и Средней Азии, рассчитанные по программе "Тренд" на ЭВМ "Мир-2". Расчет этого критерия производился до четвертой степени полинома. Анализ данных, приведенных в табл. 8.4, позволяет сделать вывод о наличии линейного тренда для ряда проявления селей на Кавказе (в целом) и тренда описываемого полинома четвертой степени для проявления селей в Средней Азии (в целом).

В таблице 8.5 приведены результаты определения наличия тренда и степени полинома, описывающего его, полученные на основе расчетов, выполненных по программе "Тренд" на ЭВМ "Мир-2". Сопоставляя результаты определения наличия тренда по критерию смены знака и критерию Аббе, наблюдаем расхождения по рядам проявления селей на северном склоне Заилийского Алатау, на Кавказе (без Армении), в Восточной Грузии и Азербайджане. Следует заметить, что критерий Аббе является недостаточно

Таблица 8.5

Наличие тренда в рядах проявления селей в различных регионах

Регионы	Наличие и характеристика тренда
Средняя Азия (в целом)	Полином четвертой степени
Правобережье р. Сырдарьи	То же
Копетдаг	Полином первой степени (линейный тренд)
Северный склон Заилийского Алатау	Тренда нет
Кавказ (в целом)	Полином первой степени (линейный) тренд
Кавказ (без Армении)	Тренда нет
Армения	Линейный тренд
Бассейн Каспийского моря (Восточная Грузия, Азербайджан)	Тренда нет

мощным для того, чтобы сделать окончательные выводы. Для решения этого вопроса можно воспользоваться также критерием автокорреляции. Проверка наличия тренда по критерию автокорреляции производится по формуле:

$$R_{k(1)} \leqslant -\frac{K+1}{n} + t_p\sqrt{n}, \qquad (8.6)$$

где $R_{k(1)}$ – значение автокорреляционной функции при сдвиге на один шаг; K – степень полинома, для исходного ряда $K=0$; n – количество значений выборки; t_p – коэффициент надежности нормального закона распределения; для 95%-ной вероятности $t_p = 1{,}96$.

В нашем случае для рядов длительностью 51 год: $R_{0(1)} = 1{,}002 + 1{,}96 \cdot 0{,}14 \leqslant \leqslant 0{,}25$. Так $N=51$; $K=0$; $t_p = 1{,}96$; $1/\sqrt{n} = 0{,}14$.

Таким образом, если R_0 (1) $< 0{,}25$, то тренд выделять не нужно.

В нашем случае по критерию автокорреляции были проверены ряды проявления селей в Средней Азии на правобережье р. Сырдарьи и в бассейне р. Нарына, Копетдаге, на Кавказе (без Армении) и в Армении (СССР). Для рядов проявления селей в Средней Азии, на Правобережье Сырдарьи и в Армении условие R_0 (1) $\leqslant 0{,}25$ выполняется, что подтверждает наличие тренда в этих рядах. Для Копетдага и Кавказа (без Армении) R_0 (1) $> 0{,}25$, что указывает на отсутствие тренда в этих рядах, следовательно, для этих рядов без предварительного выделения тренда можно приступить к проверке наличия цикличности.

Окончательное решение о степени полинома, описывающего тренд данного ряда, должно приниматься с таким расчетом, чтобы принятый тренд имел определенный физический смысл и отражал бы цикл более высокого порядка, который из-за недостаточной

длины ряда оказался не выраженным. Например, тренд, выделенный для рядов проявления селей в Средней Азии (в целом) и Правобережья р. Сырдарьи с помощью полинома четвертого порядка, соответствует Брикнеровскому климатическому циклу (30–35 лет). Этот цикл также выделяется и на автокорреллограмме. Тренд проявления селей в Армении, описываемый полиномом третьей степени, представляет собой часть векового цикла солнечной активности, выраженной в числах Вольфа.

Таблица 8.6

Проверка на цикличность с помощью критерия смены знака

Район	$\overset{+}{n}$	$\bar{n}$	u	ε_u	V_u	z_u	$z_{\text{табл.}}$	Циклы
Кавказ без Армении	27	24	17	26,4	11,6	-2,8	±1,96	Есть
Правобережье Сырдарьи	19	32	16	25	10,6	-2,7	±1,96	-"-
Бассейн Каспийского моря	17	34	19	23,7	9,8	-1,5	±1,96	Нет
Средняя Азия	17	34	13	24	9,8	-3,54	±1,96	Есть

После извлечения тренда из значений временных рядов производится проверка наличия цикличности в них. Эта проверка проводится также по критерию смены знака и скачков. В табл. 8.6 приведены результаты проверки на цикличность для отдельных регионов. Из данных таблицы следует, что во всех регионах, кроме бассейна Каспийского моря (Восточная Грузия и Азербайджан), в проявлении селей наблюдается цикличность. Отсутствие цикличности в Восточной Грузии и Азербайджане, согласно критерию смены знака, можно объяснить неполнотой и недостаточной репрезентативностью этого ряда. Это как раз, по-видимому, тот случай, когда применение строгих математических методов к недостаточно полным рядам может привести к неправильным выводам.

Выделение циклов производилось по программе "Уровень", разработанной В.И. Пыркиным. В начале задавались следующие значения параметров: амплитуды $A_n = 1$, начального периода $P = 1$, конечного периода $g = 30$ лет, шага изменения периода $H = 1$ год. При этом принималось, что все выделенные гармоники или большинство из них являются существенными. По результатам вычисления строился амплитудно-частотный график, представляющий собой упрощенный спектр временного ряда и позволяющий выбрать оптимальные значения A_n, P, H. Эти параметры вновь закладывались в программу "Уровень" и после производства расчета на ЭЦВМ получали параметры существенных гармоник: период, амплитуду, фазу. Кроме того, выделялась случайная компонента в виде остаточного ряда, для которого определялось среднее квадратическое отклонение, распределение частот по интервалам и оценка надежности остаточного ряда. В табл. 8.7 приведены результаты счета по программе "Уровень" по определению параметров гармоник для рядов 51 год. Существенные гармоники выделены шрифтом. Для Кавказа всего выделяется 11 гармоник, но из них только три существенные (5,7,11 лет) с амплитудами от 4,5 до 5,1, которые должны учитываться при прогнозах. Остальные гармоники выражены слабо. Для Средней Азии в целом существенные циклы также имеют продолжительность 5, 7 и 11 лет. Продолжительность существенных циклов для рядов проявления селей в Армении и Копетдаге отличается от продолжительности таковых для вышеприведенных районов. Для Армении эти циклы характеризуются продолжительностью 3, 13 и 30 лет, а для Копетдага – соответственно 4, 8 и 20 лет. Для ряда проявления селей на Правобережье Сырдарьи выделяется только один существенный цикл продолжительностью 5 лет. Из приведенных в табл. 8.7 данных следует, что при выделении тренда более высокого порядка цикла большой длительности на частотно-амплитудных графиках не проявляются, так как они уже отражены в тренде.

Таблица 8.7

Результаты счета по программе "Уровень" (с заблаговременностью прогноза 30 лет)

	A_n	P	q	H	Количество выделенных гармоник	Параметры гармоник		
						период	амплитуда	фаза
Кавказ без Армении (тренд не исключался)	2	5	30	-1	11	15	5,1	3,1
						6	3,0	3,7
						7	4,9	4,4
						8	2,4	0,13
						9	3,5	5,4
						11	4,5	6,1
						12	2,3	4,4
						14	3,0	1,7
						16	2,2	5,7
						20	2,0	4,7
						26	2,2	3,3
Средняя Азия (полином четвертой степени)	8,5	3	30	-2	7	3	11,3	2,8
						5	16,7	4,6
						7	17,0	1,2
						9	12,3	0,18
						11	18,0	6,0
						13	9,7	5,7
						17	12,0	4,1
Бассейн Сырдарьи и Нарына (полином четвертой степени)	3	3	30	-1	8	5	7,2	4,6
						6	3,5	2,1
						7	3,8	0,65
						10	3,3	5,6
						12	3,6	5,6
						14	3,4	5,3
						18	3,4	3,5
						24	3,1	2,0
Армения (полином третьей степени)	2	1	30	-1	10	3	3,2	3,9
						4	2,9	0,38
						6	2,9	3,7
						7	2,2	3,4
						11	2,7	3,8
						13	3,2	0,68
						15	2,2	3,9
						20	2,0	6,0
						24	2,1	4,1
						30	3,4	2,3
Копетдаг	2	4	30	-4	3	4	2,4	3,3
						8	3,0	2,2
						20	3,0	4,8

5. Выявление оползне- и селеопасных сезонов

Опасным сезоном проявления того или иного генетического типа экзогенных геологических процессов называется период времени в году, когда возможна активизация данного процесса. По отношению к селевым процессам – это будет селеопасный сезон, а по отношению к оползневым – оползнеопасный. В селеопасном и оползнеопасном сезо-

5386

нах следует выделять период наиболее вероятного проявления того или иного процесса.

Определение опасного сезона представляет одну из важных задач в системе временных прогнозов. Опасный сезон может определяться как для инженерно-геологических регионов и областей, так и для административных районов (республика, край, область). Методика определения опасного сезона и наиболее вероятного периода проявления процессов заключается в следующем. Для каждого месяца рассчитывается частость (вероятность) проявления определенного генетического типа экзогенных геологических процессов по формуле

$$P_i = \frac{n_i}{N}, \qquad (8.6)$$

где P_i – частость (экспериментальная вероятность) проявления процесса для данного месяца; n_i – число случаев проявления (активизация) процесса в данном месяце; N – общее число проявлений процесса.

Вероятность проявления данного типа экзогенных геологических процессов в период наиболее вероятного проявления определяется как сумма вероятностей по месяцам с наибольшими значениями вероятностей.

$$P' = \sum_{n=1}^{q} P_i, \qquad (8.7)$$

где q – месяцы с наибольшим числом проявлений процесса; P_i – вероятность проявления экзогенного геологического процесса.

В разных регионах продолжительность селеопасных и оползнеопасных сезонов и периодов наиболее вероятного проявления процессов неодинакова и не всегда приурочена к одним тем же месяцам. Поясним это на примере определения селеопасного сезона и периода наиболее вероятного впроявления селей в Грузии и Узбекистане.

В Грузии продолжительность селеопасного сезона составляет восемь месяцев – с апреля по октябрь, в Узбекистане девять месяцев – января по сентябрь включительно (рис. 8.10).

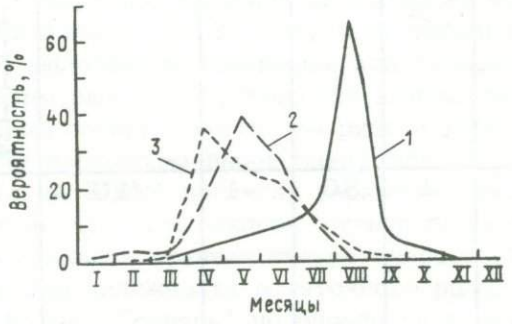


Рис. 8.10. Селеопасные сезоны в Грузии – 1 и Узбекистане (2 – по данным за 1972-1934 гг.; 3 – по данным за 1951-1958 гг.)

Однако период наиболее вероятного проявления селей в Грузии в основном приурочен к августу, когда наблюдается 62% случаев прохождения селевых потоков, и к июлю – 14% случаев. К этим двум месяцам приурочено 76% всех случаев селевых потоков.

В Узбекистане период наиболее вероятного проявления селей продолжается три месяца, с апреля по июнь. В Туркмении наиболее вероятны сели в марте-апреля, в Таджикистане – в апреле-мае. Период наиболее вероятного проявления селей в юго-восточной части Крыма составляет три месяца (июнь-август), когда проходит 90% всех селей.

На Южном берегу Крыма сели с одинаковой вероятностью могут формироваться как летом, так и зимой.

Литература

1. Девис Д. Статистика и анализ геологических данных. М.: Мир, 1977, 572 с.
2. Комаров И.С. Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях. М.: Недра, 1972, 274 с.
3. Смирнов Н.В., Белугин Д.А. Теория вероятностей и математическая статистика в приложении к геодезии. М.: Недра, 1969, 383 с.
4. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. М., Недра, 1980, 296 с.

Глава 9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ

1. Общие положения

Под аэрокосмическими методами понимается комплекс исследований поверхности Земли и земной коры, осуществляемых с помощью искусственных спутников Земли, орбитальных космических станций и пилотируемых космических кораблей, самолетов и вертолетов, путем регистрации собственного или отраженного электромагнитного излучения природных образований приемными устройствами с последующей интерпретацией и анализом полученных данных. Применение аэрокосмических методов способствует повышению эффективности исследований оползней и селей и выражается в улучшении качества составляемых карт, ускорении производства исследований, совершенствовании организации работ и уменьшении их стоимости. Это достигается благодаря тем преимуществам, которые имеют аэрокосмические методы перед наземными исследованиями. К ним относятся:

1) возможность изучения территории с различной степенью генерализации от обзорной региональной до локальной и детальной;

2) обеспечение большой точности картографирования по материалам аэрокосмической съемки;

3) возможности изучения территории в камеральных условиях с составлением общих и специальных предварительных карт по материалам аэрокосмических съемок;

4) широкое использование интерполяции и экстраполяции данных на основе дешифровочных признаков, что позволяет сократить сеть наземных маршрутов, а в отдельных случаях и объем разведочных работ;

5) возможность получения по материалам аэрокосмосъемок ряда количественных характеристик оползней и селей, оценки пораженности ими территории и изучении динамики их развития.

При всех этих преимуществах аэрокосмические методы не обеспечивают получения полного объема необходимой информации об оползнях и селях. Поэтому они должны рассматриваться как составная часть работ по комплексному их изучению. Аэрокосмические методы применяются на всех этапах исследований: при обследовании территорий для оценки селевой и оползневой опасности при их хозяйственном освоении, региональном мелко- и среднемасштабном картировании условий развития этих процессов; при детальном изучении селевых, оползневых очагов и изучении режима их развития.

2. Виды аэрокосмических съемок и их информационные возможности

По характеру изучаемых полей, диапазону электромагнитных волн и видам приемников излучений дистанционные аэрокосмические методы подразделяются на: фотографическую, телевизионную, тепловую, инфракрасную, радиолокационную, многоспектральную съемки и аэровизуальные наблюдения [4,8]. Краткие сведения о них даны в таблице 9.1.

Фотографирование является основным видом дистанционных съемок, используемым при изучении оползней и селей. Фотографическое изображение, полученное на черно-бе-

5386

Таблица 9.1

Основные виды аэрокосмических методов и их характеристики

Виды аэрокосмических методов	Характер изучаемых полей	Используемый диапазон электромагнитных волн	Приемник излучений	Достоинства и недостатки метода
Фотографические	Регистрация отраженного электромагнитного излучения Солнца	0,4 -1,1 мкм	Фотографические камеры с набором фильтров и различных типов пленок	Достоинства: большая информативность, хорошая разрешающая способность на местности, высокая чувствительность и большая надежность аппаратуры. Недостатки: выполняется только в дневное время при отсутствии облаков.
Телевизионные	То же	0,35-1,1 мкм	Телевизионные камеры типа "Видикон" с электронным сканированием	Достоинства: оперативность и возможность периодического получения информации об одной и той же территории. Недостатки: более низкая разрешающая способность по сравнению с фотографическим. Затруднено стереоскопическое изучение снимков. Выполняют съемку только в дневное время
Тепловые инфракрасные	Регистрация собственного теплового электромагнитного излучения Земли	2-20 мкм	Тепловые и фотонные радиометры с поперечным сканированием	Достоинства: фиксация дополнительных тепловых контрастов , обусловленных физическими свойствами объектов (температурой, влажностью и т.д.); возможность съемки в любое время суток. Недостатки: более низкая разрешающая способность, геометрическая неопределенность положения точек на снимке, изменчивость изображения в течение суток
Радиолокационные	Регистрация отраженных волн электромагнитного излучения от искусственного источника	1-100 см	Радиолокационный приемник излучений со сканирующей антенной	Достоинства: круглогодичность и всепогодность условий съемки; возможность устранения маскирующих факторов - снежного покрова, растительности при дешифрировании геологических образований, детализация строения рельефа и разрывных структур. Недостатки: невысокое разрешение по сравнению с фотографическими, значительное искажение контуров изображений.
Многозональные	Одновременная регистрация отраженного и собственного электромагнитного излучения в 3-6 узких зонах спектра	Узкие интервалы в широком спектральном диапазоне (0,35-14 мкм)	Многообъективные фотографические камеры или оптико-механические сканирующие системы	Достоинства: повышение информативности за счет сравнения многозональных снимков, их преобразований и синтезирования. Перспективы решения проблем автоматизации дешифрирования. Недостаток: сложность обработки.

лую, цветную или спектрозональную пленки, обеспечивают высокое пространственное разрешение (от десятков метров до нескольких сантиметров) и геометрическую определенность фотографируемых объектов. Снимки имеют широкий диапазон масштабов. Космофотоснимки (КФС), полученные с помощью спутников, пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций, по преимуществу обзорные, имеют масштаб 1:100 000–1:1 000 000 и мельче. Аэрофотоснимки (АФС), полученные с помощью воздушных носителей (самолетов, вертолетов), подразделяются на мелко–(1:35 000 – 1:100 000), средне–(1:10 000– 1:35 000) и крупномасштабные (1:10 000 – и крупнее).

Информационные возможности КФС и АФС при дешифрировании оползней и селей, а также факторов и условий их формирования показаны в таблице 9.2. Обзорные КФС и мелкомасштабные АФС наиболее полно отвечают требованиям регионального изучения оползневых и селевых процессов, а мелко– и среднемасштабные – их картирования, а также районирования территорий по условиям развития и степени пораженности этими процессами. Среднемасштабные АФС обеспечивают изучение селевых и оползневых очагов при инженерно–геологических съемках среднего и крупного масштаба или исследованиях под отдельные инженерные сооружения. Крупномасштабные АФС используются, главным образом, при стационарных режимных наблюдениях за динамикой процессов.

Другие виды съемок – телевизионная, тепловая инфракрасная (ИК), радиолокационная (РЛ), многозональная (МЗ) и аэровизуальные наблюдения рассматриваются в настоящее время как вспомогательные, позволяющие решать более узкий круг задач. Поэтому материалы этих видов съемок используются выборочно в тех случаях, когда их применение может дать положительные результаты.

Так, телевизионная (Т) съемка с искусственных спутников Земли обеспечивает получение обзорных снимков одной и той же территории через определенные интервалы времени, что позволяет судить об активизации селевой, оползневой и овражной деятельности на огромных пространствах.

Инфракрасная (ИК) съемка может быть эффективно использована при изучении природных образований, обладающих температурными контрастами. Наиболее целесообразно применение этого вида съемки при обследовании селевых очагов, образовавшихся в результате подпруживания горных рек или связанных с деятельностью современных ледников. Здесь материалы ИК–съемки дают возможность выявить участки интенсивной фильтрации воды в завальных и насыпных плотинах, таяния льда и снега ледников, обводненных ложбин и русел термокарстового происхождения в толще морен, которые могут привести к образованию катастрофических селей. Перспективно применение ИК–съемки также и при прогнозировании оползней, связанных с повышенным увлажнением и водонасыщением горных пород на склонах. Такие участки могут быть обнаружены на ИК–снимках по отрицательным тепловым аномалиям.

Материалы радиолокационной (РЛ) съемки могут быть использованы для выявления складчатых и тектонических структур, установления гранулометрического состава и мощности рыхлого чехла поверхностных отложений и их взаимоотношений с коренными породами, что важно для оценки условий формирования селевых очагов, связанных со скоплением рыхлого материала в руслах временных и малых водотоков. Использование многозональных снимков (МЗС), одновременно полученных в нескольких узких зонах спектра, позволит получить качественно новую и более полную информацию как о проявлениях оползней и селей, так и об условиях их формирования. Однако практического опыта использования МЗС при изучении оползней и селей еще нет, и необходимы экспериментальные исследования в этом направлении.

Аэровизуальные наблюдения дают возможность обзорного исследования местности в ее естественном виде при различных масштабах наблюдений, восприятия форм, размеров и деталей объектов в обычных для глаза ракурсах со всем богатством цветовых оттенков, что обеспечивает успешное их применение для рекогносцировочных обследований, контроля результатов дешифрирования и дежурных наблюдений за формированием и развитием оползней и селей. Аэровизуальные наблюдения могут дополняться авиадесантными операциями, позволяющими уточнить картины, наблюдаемые с воздуха, путем непосредственных наземных наблюдений. При выполнении аэровизуальных наблюдений возможно перспективное фотографирование с помощью малоформатных фотокамер характерных оползней и проявлений селевых процессов с последующей фотограмметрической обработкой полученных снимков.

Таблица 9.2

Информационные возможности дешифрирования оползней и селей по материалам аэро- и космической фотосъемки различных масштабов

Решаемые задачи	Степень пригодности категории масштабов аэро- и космических снимков			
	Обзорные мельче 1:100 000–1:1 000 000	Мелкомасштабные 1:50 000 1:100 000	Среднемасштабные 1:10 000–1:35 000	Крупномасштабные 1:10 000
Выявление территорий с проявлением оползневых и селевых процессов	Δ	+	+	○
Оценка степени оползневой и селевой пораженности территории	Δ	+	+	○
Генетические типы проявлений оползневых и селевых процессов	○	Δ	+	+
Изучение закономерностей зонального распространения процессов, приуроченность к высотным поясам и климатическим зонам	+	Δ	○	○
Установление связей оползней и селей с тектоническими структурами и характером неотектонических и сейсмических движений	+	+	Δ	○
Учет гидрометеорологических и гидрологических факторов оползневых и селевых процессов	Δ	+	+	○
Изучение геоморфологических, геологических и гидрологических особенностей оползневых и селевых очагов	○	Δ	Δ	Δ
Получение количественных характеристик оползней и селей (объемы сместившихся масс, величины смещений, морфометрические данные о размерах, высоте, уклонах и т.д.)	○	○	Δ	+
Относительный возраст проявлений оползней и селей	○	Δ	+	Δ
Определение стадий развития, периодичность и ритмичность процессов	○	Δ	+	+
Оценка активности и активизации развития процессов	○	○	Δ	+
Прогноз потенциально опасных территорий в отношении возможного проявления процессов	○	Δ	+	Δ

\+ – хорошая, Δ – удовлетворительная, ○ – плохая

3. Принципы индикационного дешифрирования по материалам аэрокосмических съемок

Дешифрирование материалов аэрокосмических съемок носит индикационный характер [10]. Это означает, что оно основано на использовании внешнего облика ландшафта в качестве индикатора (показателя) тех его компонентов, которые не получают непосредственного выражения в аэрокосмофотоизображении. Таким образом, ландшафтная индикация является теоретической основой дешифрирования. Главнейшими понятиями, используемыми при этом, являются понятия об индикаторе и индикате [2]. Под индикаторами понимаются отдельные физиономические легко наблюдаемые компоненты ландшафта или природно-территориальные комплексы, обусловленные характером формирования и особенностями проявления оползневых и селевых процессов и используемые для их выявления и изучения. Индикаторы подразделяются на две группы: частные и комплексные.

Частные индикаторы представляют собой отдельные природные физиономические компоненты (рельеф, геологическое строение, гидрографическая сеть, растительность и т.д), а комплексные индикаторы – сочетания этих компонентов, образующих характерные комплексы, отвечающие внешнему облику ландшафтных территориальных единиц разного ранга – ландшафтов, местности, урочищ и т.д. Среди частных индикаторов наибольшее значение при изучении оползней и селей имеют геоморфологические. К ним относятся: типы, формы и элементы форм рельефа, их морфологические, морфометрические характеристики, которые являются следствием сложных процессов, приводящих к образованию оползней и селей. Анализируя эти характеристики по материалам аэрокосмических съемок, можно косвенно судить о генетических типах процессов, их направленности и представить себе их возможную эволюцию, а по количеству и размерам форм можно оценить пораженность территории этими процессами.

Существенное, а иногда и определяющее значение при дешифрировании оползней и селей играют геологические индикаторы: состав отложений, условия залегания, трещиноватость горных пород, наличие разрывных нарушений, которые определяют характер и типы оползневых процессов и твердую составляющую селевых потоков. Поэтому изучение геологического строения по АФС и КФС может существенно облегчить дешифрирование рассматриваемых геологических процессов.

Меньшее значение, по сравнению с геоморфологическими и геологическими, имеют геоботанические индикаторы. Растительный покров может служить показателем возраста, стадий развития и степени активности оползневых и селевых процессов, а также локализации избыточно увлажняемых участков на склонах и ранних, наименее заметных стадий развития оползней.

Среди других частных индикаторов известную информацию могут дать антропогенные индикаторы, к которым относят следы различных форм деятельности человека, влияющих на развитие оползневых и селевых процессов.

Для распознавания индикаторов на АФС и КФС используются различные дешифровочные признаки. Они могут быть разделены на две основные группы – плановые и объемные. К первым относятся: тон, яркостный контраст (для черно-белых материалов), цвет, его насыщенность (для цветных материалов), форма (слагающаяся из общего контура и заполняющих деталей), размеры (линейные и площадные), тени объекта и комплексный рисунок, возникающий из закономерного сочетания контуров, имеющих разные формы. Объемные признаки включают высотные характеристики элементов рельефа и очертания их объемных форм.

Индикатами или объектами индикации называются те особенности геологической среды и протекающие в ней процессы, которые мы определяем с помощью индикаторов. Индикаты разнообразны. В отношении оползневых и селевых процессов индикатами могут являться как общее размещение площадей их проявления, так и степень пораженности территории тем или другим процессом, расположение очагов процессов, стадии процессов и их смена в пространстве (а при использовании КФС или при повторных аэрофотосъемках – и во времени) и, наконец, переход от одного процесса к другому. В то же время к числу индикатов могут относиться и многие природные условия, в которых протекает процесс: господство тех или иных пород, наличие тектонических нарушений, проявление неглубокого залегания подземных вод и ряд других природных характеристик, получающих непосредственное изображение на дистанционных материалах и воспринимаемых лишь с помощью тех или других индикаторов.

Наиболее эффективным способом индикации оползневых и селевых процессов на АФС и КФС является распознавание их размещения, определение генетических типов и стадий развития по ландшафтно-генетическим рядам. Под ландшафтно-генетическим подразумевается такой ряд природно-территориальных комплексов, в котором комплексы располагаются друг за другом в том порядке, в котором они сменяются во времени в ходе какого-либо процесса. Поскольку ряд в целом создается данным процессом, то отдельные элементы внешнего облика ряда позволяют распознать различные стадии процесса. При этом большое значение приобретают разные черты морфологической структуры ряда, а именно: а) число членов ряда, обычно соответствующее числу главнейших стадий процесса; б) физиономическая контрастность элементов ряда, позволяющая ориентировочно оценить степень резкости смен экологических условий в ходе процесса; в) повторяемость элементов ряда, указывающая на периодичность процесса.

В пределах любого экзогенного процесса и, в частности, в оползневых и селевых процессах можно различать следующие стадии: а) подготовка процесса; б) возникновение его; в) нарастающее развитие; г) кульминация; д) спад; е) последствия. Весьма часто стадия последствия одного процесса служит стадией подготовки для другого; таким образом возникают так называемые цепочки процессов, отражающие непрерывность изменения геологической среды [10].

Распознавание различных членов ландшафтно-генетического ряда, в соответствии с тем, что было связано ранее, может производиться с использованием то геоморфологических, то геоботанических, то комплексных признаков. Обычно на ранних, слабо различимых стадиях процесса, ведущая роль принадлежит растительности, вследствие крайне чуткой ее реакции на внешние воздействия, а на более поздних стадиях переходит к геоморфологическим особенностям вследствие их большей заметности на аэрокосмических материалах.

4. Дешифрирование очагов зарождения, участков транзита и аккумуляции селей

Дешифрирование селей представляет собой сложный процесс, основанный на всестороннем изучении и анализе природных факторов образования и форм проявления селевых явлений по материалам аэрокосмосъемки. Этот процесс наиболее полно описан А.В. Садовым [9]. Дешифрирование позволяет выявлять основные элементы селевой системы: очаги зарождения, участки транзита и аккумуляции селей. Они образуют определенный ландшафтно-генетический ряд, элементы которого достаточно хорошо опознаются по своим морфологическим особенностям. Наиболее сложно опознавание исходных звеньев ряда, а именно селевых очагов, где происходит накопление рыхлообломочного материала и формирование селевого потока. Структурная схема распознавания селевых очагов показана в таблице 9.3. Она последовательно учитывает формирование твердой и жидкой фаз селевых потоков, характер первоначального сдвижения рыхлого материала и особенности селей. Представленная схема распознавания может служить основой для дешифрирования условий селеобразования по аэрокосмоснимкам.

Для установления региональных закономерностей развития селей используются космические снимки. По ним устанавливаются основные селеносные бассейны, определяются границы их водосбора, анализируется высотное положение очагов питания твердым материалом и определяются источники жидкого стока. Анализ высотно-климатических поясов типов рельефа, границ снеговой линии, разрывных нарушений и формаций горных пород по космическим снимкам позволяет охарактеризовать условия формирования жидкой составляющей селей, разграничить очаги гляциального и ливневого происхождения, определить источники питания твердым материалом. Так, при расположении селевого очага в нивальном поясе питание осуществляется преимущественно за счет таяния ледников и поступления рыхлого материала морен. При расположении в субнивальном скально-осыпном поясе основной источник твердого стока образуется за счет продуктов физического выветривания коренных пород и гравитационных процессов и поступления жидкой составляющей за счет ливней и таяния ледников. При расположении в альпийском и субальпийском поясе существенную роль играет уже ливневое питание, а также плоскостной и линейный смыв (рис. 9.1).

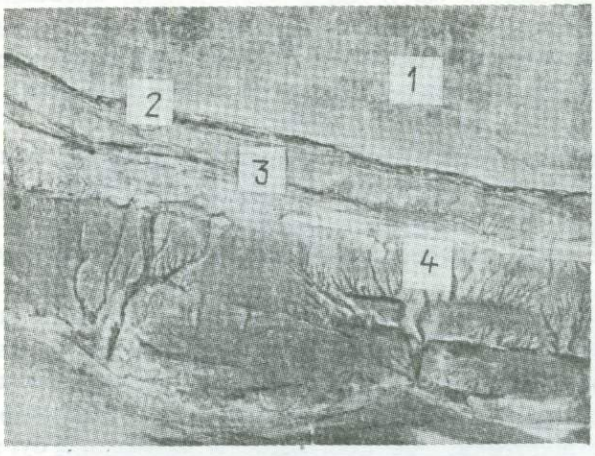


Рис. 9.1. Аэрофотоизображение крупных массивов смещенных скальных пород фронтального типа: суффозионные блюдца (1), трещины растяжения (2), сместившиеся массивы (блоки) пород (3), влаголюбивая растительность в межблоковых понижениях (4).

Возможности выявления по космическим снимкам тектонических нарушений, зон разломов и различных по характеру движения неотектонических блоков позволяют выявить связь селевых проявлений с тектоникой.

Таблица 9.3

Структурная схема распознавания селевых очагов по материалам аэрокосмосъемки

Селевые очаги	Принципы выделения	Признаки распознавания
Гляциальные, ливневые	Объединяют очаги по характеру формирования жидкой фазы	Высотно-климатический пояс. Границы снеговой линии (сезонной и постоянной) Внешний облик ландшафта (в особенности рельефа)
Очаги в ледниковых, гравитационных, флювиогляциальных и других отложениях	Дополнительно учитывается состав и характер твердой составляющей селей	Стратиграфо-генетические комплексы четвертичных отложений и состав пород, выражающиеся во внешнем облике ландшафта
Оползневые, эрозионные, обвальные, осыпные и др.	Дополнительно учитывается роль современных геологических процессов, обусловливающих характер сдвижения твердой составляющей селей	Типы современных геологических процессов и формы их проявления во внешнем облике ландшафта

Более полную информацию о селевых очагах возможно получить при дешифрировании аэроснимков. На основе стереоскопического рассматривания аэроснимков мелкого и среднего масштаба выделяются элементарные селевые бассейны, определяются площади распространения стратиграфо-генетических комплексов рыхлых четвертичных отложений, а также выявляются типы современных геологических процессов, участвующих в селеобразовании. Детальное дешифрирование крупномасштабных снимков обеспечивает получение количественной информации о селевых очагах с помощью стереоизмерений. Так, можно определить площадь водосборного бассейна, густоту гидрографической сети, ширину, извилистость и средние уклоны русел, относительную высоту и крутизну склонов, сомкнутость растительного покрова, а также объемы рыхлых масс, участвующих в селеобразовании.

О степени активности селевых очагов можно судить по линейной и площадной пораженности бассейна современными геологическими процессами. В качестве показателя можно использовать суммарную степень пораженности селевого бассейна современными геологическими процессами ($K_н$), определяемую как отношение селеобразующих очагов

5386

к площади всего бассейна. По этому признаку может быть выделено 5 групп бассейнов: весьма сильноэродированные – $K_н$ 0,2–0,4; сильно-эродированные $K_н$ 0,1–0,2; среднеэродированные $K_н$ 0,05–0,1; слабо-эродированные $K_н$ 0,03–0,05 и весьма слабо-эродированные – $K_н$ 0,01–0,03. Значение этого показателя может быть легко получено на основе дешифрирования аэроснимков.

Рассмотрим особенности дешифрирования важнейших типов селевых очагов. В большинстве случаев наиболее надежным индикатором их является комплекс особенностей их рельефа. Наиболее отчетливо он выступает при выявлении стадий подготовки селей; этим стадиям отвечают различные типы селевых очагов, признаки дешифрирования которых приводятся ниже.

Термокарстово–эрозионно–оползневые очаги современных и верхнечетвертичных моренных отложений встречаются в области высокогорного альпийского рельефа с современным оледенением, а также реликтами древнего оледенения; приурочены к крупным каровым понижениям и троговым долинам; на аэроснимках : опознаются по участкам морены, примыкающей к руслу реки или временного водотока, ее поверхность неровная, бугристая, местами холмистая или грядовая с многочисленными понижениями, ложбинами, воронками и термокарстовыми озерами; морене соответствует полосчато–пятнистый рисунок вытянутой языковой формы серого и светлосерого тона с темной извилистой линией по его краю (соответствует руслу реки или временного водотока) и отдельными почти черными пятнами (соответствуют термокарстовым озерам). Свежие эрозионные врезы на уступах морены выделяются по веерообразным светлым полосам, а обрушения и оползания моренного материала – по пиркообразным светлым пятнам (рис. 9.2)



Рис. 9.2. Аэрофотоизображение термокарстово–эрозионно–оползневого селевого очага ливневого питания в морене; ледниковое озеро (1), термокарстовые воронки (2), оползни в уступе морены (3), эрозионные врезы (4), участок русла с селевыми отложениями (5)

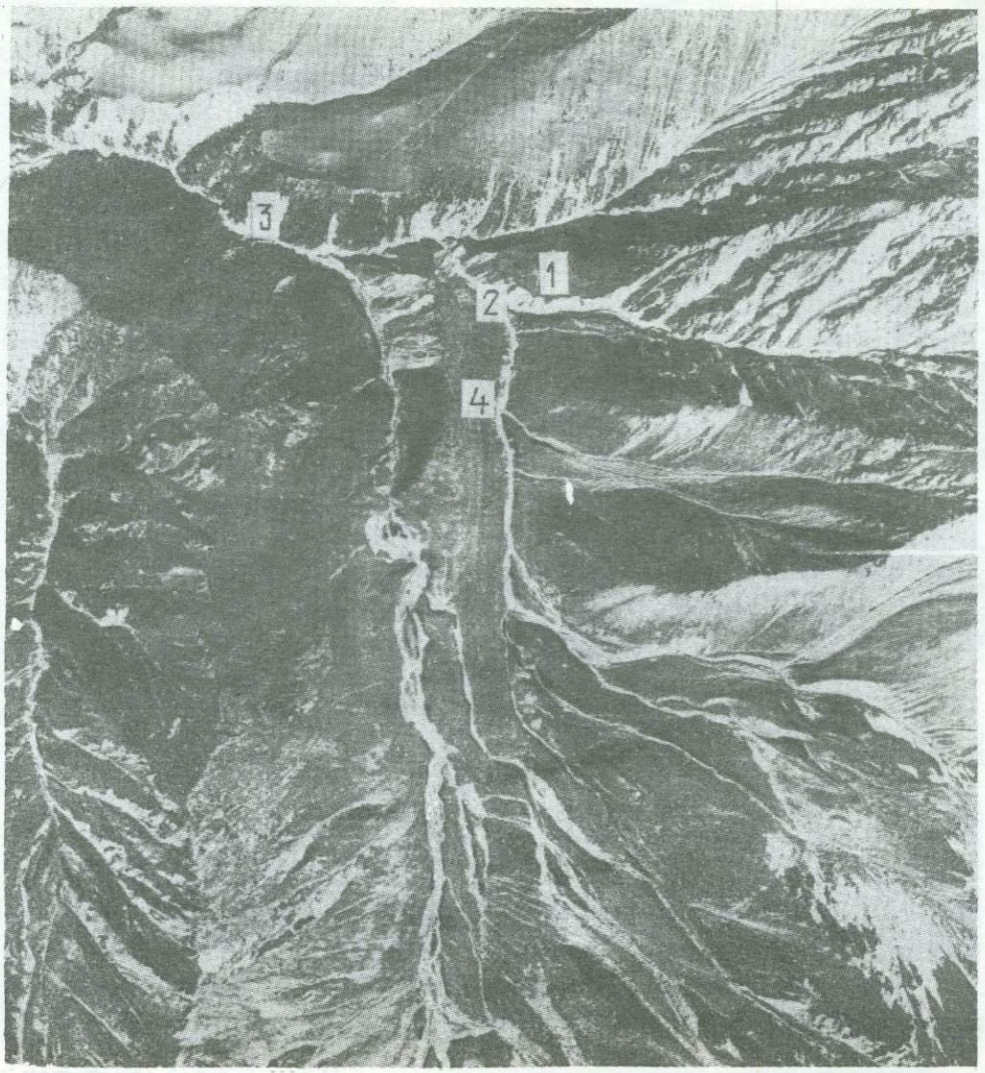


Рис. 9.3. Аэрофотоизображение эрозионно-оползневого селевого очага ливневого питания, приуроченного к древне-флювиогляциальным отложениям: древняя флювиогляциальная терраса (1), оползневые срывы (2), эрозионные промоины и овраги (3), селевое русло (4)

Эрозионно-оползневые очаги в древних флювиогляциальных отложениях встречаются в областях высокогорного альпийского и высокогорно-эрозионного рельефа; приурочены к флювиогляциальным террасам; выделяются по узкой полосе с фестончатым рисунком очень светлого тона (оползни и эрозионные врезы), примыкающей к извилистой темной линии (постоянный водоток) (рис. 9.3).

Эрозионно-осыпные очаги в гравитационных отложениях встречаются в области высокогорного альпийского и высокогорно-эрозионного рельефа; приурочены к сильно разрушенным древним циркам и осыпным склонам в боковых притоках основной реки; выделяются по сложному рисунку точечной зернистой структуры светлосерого и серого тонов (осыпи) в сочетании с параллельно-перистым рисунком светлого тона (многочисленные эрозионно-лавинные врезы); вершины эрозионных врезов имеют остроугольную форму в плане и *V*-образный поперечный профиль (рис. 9.4).

Эрозионные очаги в делювиальных и делювиально-гравитационных отложениях встречаются в области среднегорно-эрозионного рельефа; приурочены ко всей площади водосборного бассейна; выделяются по большим светлым и серым пятнам и полосам, приуроченным к перегибам склона (соответствуют участкам с интенсивной эрозионной деятельностью плоскостного смыва) и четким тонким светлым линиям, соответствующим характерным формам промоин и оврагов, возникающих под влиянием линейной эрозии (рис.9.5)

5386

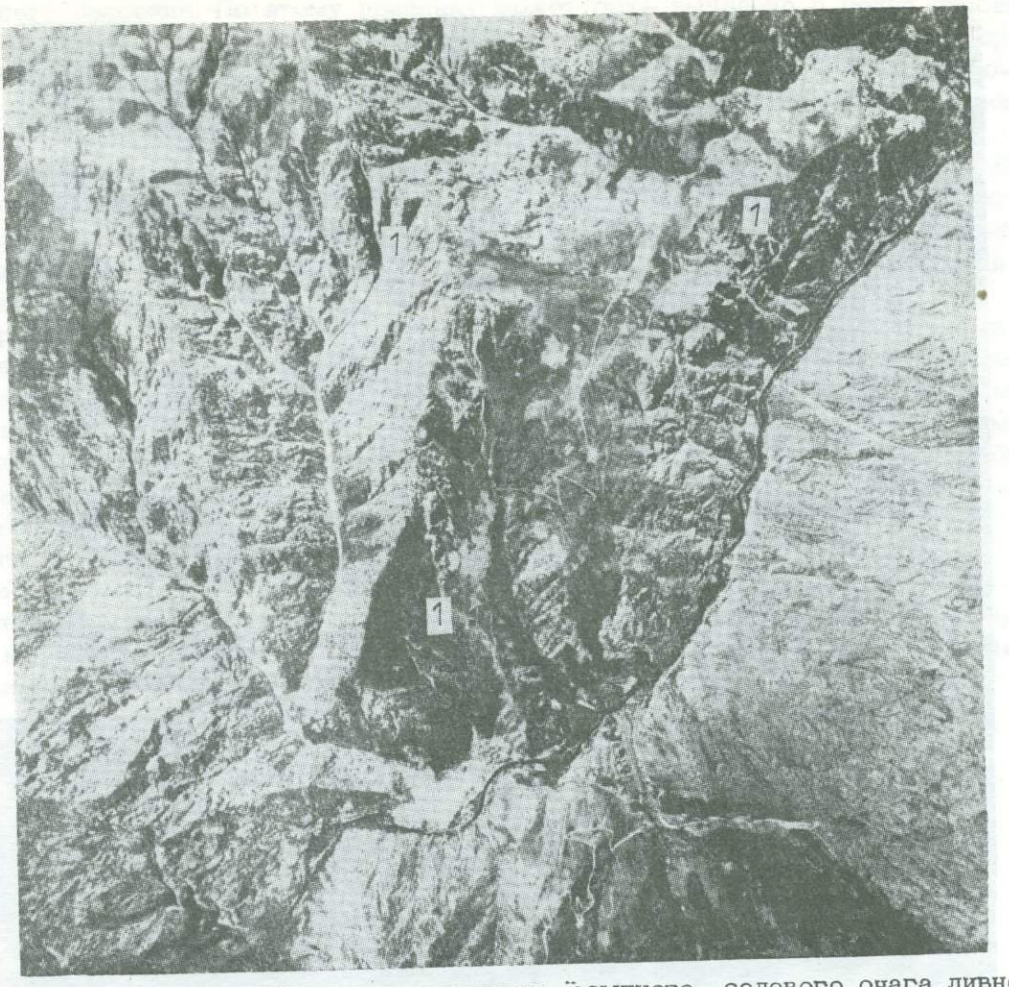


Рис. 9.4. Аэрофтоизображение эрозионно-осыпного селевого очага ливневого питания в гравитационных отложениях (1)

Обвально-эрозионные и оползневые очаги в лессах и лессовидных суглинках встречаются в предгорьях; имеют линейную приуроченность к зонам крупных тектонических нарушений; выделяются по циркообразной, глетчеро-дендротовидной и площадной форме многочисленных оползней преимущественно светлосерого и серого тонов и радиально-струйчатому рисунку эрозионной сети (рис. 9.6).

Следует отметить, что в возникновении стадий подготовки селей большое значение имеет антропогенный фактор. Если первый из перечисленных нами выше типов является чисто естественным, то остальным часто предшествует вырубка горных лесов, усиленный выпас на высокогорных пастбищах, разрушающий почвенный слой. Поэтому актуальным становится аэрокосмический мониторинг высокогорий [3].

Рассмотрим особенности дешифрирования участков транзита селей. Они располагаются ниже селевого очага, представляют собой стадию нарастающего развития процесса, обнаруживают ряд постепенных звеньев, связывающих их со следами недавнего схода селя, которые могут быть выражены хорошо заметными свежими формами смещения материала (оползни, срывы почвенного покрова, формы активной эрозии, уничтожение растительности и т.д.). Последние легко распознаются на аэрофотоснимках по своим морфологическим особенностям: осветленные контрастные пятна на более темном фоне растительного покрова, характерные формы свежих оползней, молодые эрозионные борозды и т.д. Ниже располагаются характерные селевые лотки, по которым происходило первоначальное перемещение материала. Они представляют собой корытообразные углубления, врезанные в склоны или дно долины, ширина которых обычно превышает глубину. Лоток имеет плоское дно, сложенное валунно-галечниковыми накоплениями, крутые, почти отвесные борта с четкой бровкой. По краям лотка отчетливо видны небольшие боковые валы выпирания высотой до 1-3 м. На аэрофотоснимках селевые лотки обычно выделяются по четкой полосе или серии полос очень светлого тона точечной структуры, чередую-



Рис. 9.5. Аэрофотоизображение эрозионно-селевых очагов ливневого питания (1)

щейся с более темными полосами. Лотки открываются в селевые русла с хорошо выраженными береговыми обрушениями, нишами подмыва и участками селевых накоплений и валов, расположенных вдоль русла. Здесь отмечается наличие наиболее крупных глыб обломков скал, стволов крупных деревьев, вырванных потоком. Наличие обрушений на берегах и нагромождение крупных обломков отчетливо различаются на аэроснимках и позволяют выделить данный элемент селевой системы.

Участки аккумуляции селей обычно представлены конусами выноса или пролювиальными полями в долинах селеносных рек, обычно приуроченными к устьям мелких притоков, а также к местам расширения речных долин с выположенным продольным профилем. Ниже его не наблюдается постоянного тальвега. На аэроснимках можно довольно легко отдешифрировать контуры свежих селевых отложений по их своеобразному веерообразно расходящемуся рисунку светлого и светлосерого тона, образованному сетью переплетающихся временных русел и валов (рис. 9.7).

Конусы выноса древних селей обычно покрыты кустарниковой и древесной растительностью и отличаются по более темному тону изображения. Развитие растительности следует считать, очевидно, стадией возникновения процесса почвообразования и выветривания по конусам.

Характер и распределение растительного покрова селевых отложений представляют собой важные признаки для оценки периодичности селевого процесса. Растительный покров, устанавливаемый по аэроснимкам, дает возможность определить относительный

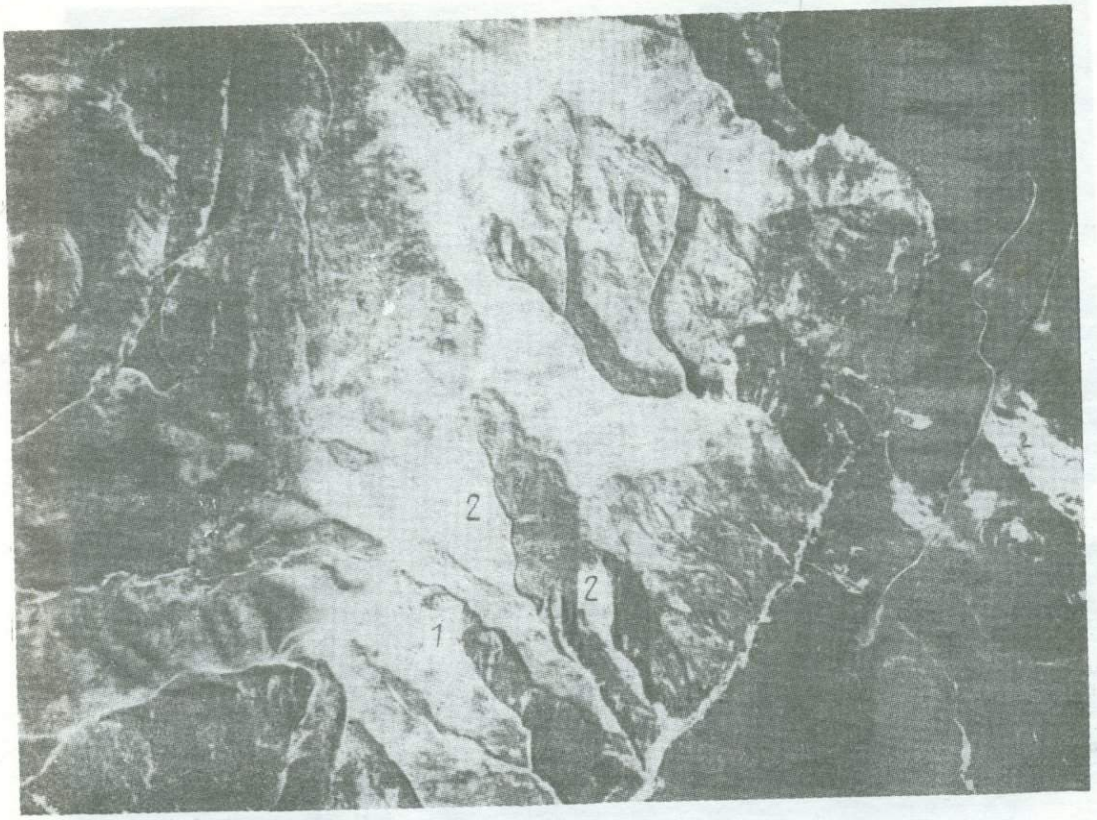


Рис. 9.6. Аэрофотоизображение оовально-эрозионных (1) и оползневых очагов (2) и лессовых породах

возраст селевых отложений, а некоторые отдельные растения (деревья, лишайники) даже их абсолютный возраст с удовлетворительной точностью. Если определить абсолютный возраст ряда смежных молодых участков одного генезиса (например, конусов выноса), можно, хотя бы приближенно, судить о периодичности процесса, т.е. о частоте повторяемости явления, явившегося причиной образования этих отложений. Такие различные по возрасту участки селевых накоплений обычно отличаются друг от друга по тону и структуре фотоизображения, обусловленных характером растительного покрова и его проективным покрытием. Как правило, более давние селевые накопления имеют более темный тон, и изоморфная структура переходит в точечную и мелкозернистую за счет поселения кустарниковой и древесной растительности.

5. Дешифрирование оползней

Оползневые явления вызывают существенные изменения рельефа и нарушение геологического строения склонов. Они формируют характерные оползневые ландшафты, которые хорошо опознаются на аэроснимках, а наиболее крупные оползни видны даже и на космических снимках. Как правило, "свежие" оползни резко контрастируют по характеру своего изображения от окружающего фона. Они имеют пятнистую и полосчатую структуру разнообразной формы неоднородного, преимущественно светлого и светло-серого тона, обусловленные бугристым или ступенчатым строением оползневых тел, наличием бугров выпирания и наплывов, неравномерным увлажнением поверхности и нарушением растительного покрова. Внешне морфологические особенности оползневых ландшафтов, отражаемые на снимках, зависят от целого ряда факторов и, в первую очередь, от геологического строения, состава и свойств пород, гидрогеологических и сейсмотектонических условий, а также определяются стадиями оползневого процесса. Поэтому дешифрирование аэроснимков позволяет выявить смещение оползневого характера, установить типы и стадии развития, изучить морфологические особенности, получить важнейшие количественные характеристики оползней, а также сделать прогноз их дальнейшего развития.

Рассмотрим особенности дешифрирования основных типов оползней.



Рис. 9.7. Аэрофотоизображение селевого конуса выноса (1)

Крупные смещенные массивы скальных пород фронтального типа, сопряженные с рвами отседания

Развитие данного процесса (стадия подготовки) обозначается в ландшафте появлением элементов его подготовки. Поскольку формирование рвов отседания происходит обычно на плоской поверхности, элементы подготовки процесса имеют не столько геоморфологический, сколько геоботанический характер. Они возникают в форме полос более мезофильных растительных сообществ (т.е. сообществ умеренного увлажнения) на фоне сухоустойчивой растительности. Появление таких полос отчетливо обнаруживалось на аэрофотоснимках масштаба 1:10 000 в виде спрямленных или коленчатоизломанных размытых линий, имеющих фототон несколько более темный, чем окружающие пространства. Их возникновение связано с формированием едва заметных, практически не выраженных в рельефе ложбин, которые, однако, вызывали локальное застаивание воды. Наиболее вероятной причиной возникновения подобных продольных ложбин надо считать трещины. Стадией возникновения процесса является уже хорошо заметная трещина – ров, с *V* -образным профилем, крутыми бортами и отчетливо выраженной бровкой. Борта и днища такого рова почти лишены растительного и почвенного покрова. Здесь имеются лишь единичные пионерные растения (чистотел, паслен), и около бровок иногда сохраняются фрагменты кустарниковых зарослей. Их присутствие подчеркивает собою генетическую связь стадий возникновения процесса и его подготовки. Для элементов возникновения процесса характерны наиболее спрямленные очертания рва, резкие коленчатые изгибы его и высокая физиономичность, выражающаяся в четкости его аэрофотоизображения. Однако размеры данного элемента невелики, и он дешифрируется лишь на аэроснимках масштаба 1:10 000 и крупнее в виде ряда черточек параллельных и субпараллельных ближайшему макроскло-

ну. Нарастающее развитие процесса соответствует элементу, имеющему вид рва с корытообразным профилем и ассимметричными по высоте бортами. По склонам рва рассеяны группы мелких и крупных кустарников, что объясняется благоприятными условиями увлажнения рва. Поэтому, в отличие от предыдущей стадии, нарастающее развитие характеризуется не только большой шириной полосы, выявляемой на аэрофотоснимке, но и наличием мельчайшей точечности в ее пределах.

Стадия кульминации и спада процесса не улавливается по материалам аэрофотосъемки. В это время наиболее четко выявляется стадия последствия процесса по вполне обособившимся и сместившимся массивам скальных пород с удлиненными фронтальными очертаниями. За счет этого смещения создался ступенчатый уступ, содействующий интенсивному наполнению влаги, а также принимающий на себя и выходы грунтовых вод, которые часто появляются по стенкам рва отседания. В силу этого на уступе обильно разрастаются кустарники, образующие сомкнутые заросли, развивается влаголюбивое крупнотравье и также может появляться древесная растительность. Все это приводит к очень отчетливой различимости как осевшего массива, так и рва отседания на аэроснимках средних и даже мелких масштабов.

Оползни-блоки представляют собой смещение пачек и блоков преимущественно глинистых и полускальных пород. Развитие данного процесса характеризуется хорошо заметными элементами его подготовки. Наиболее важными для понимания генезиса процесса являются определенные геоморфологические особенности. Они зависят от тектонических факторов, часто являющихся главнейшими и ведущими в формировании данного типа оползней, особенно в горных районах. Следует подчеркнуть, что сопряженность оползней-блоков с районами тектонических дислокаций исключительно велика.

Главнейшими геоморфологическими особенностями, входящими в стадию подготовки формирования оползня-блока, являются трещины растяжения и ступени проседания. Первые по времени возникновения как бы предваряют собой появление вторых. На аэрофотоснимке трещины растяжения имеют вид изолированных друг от друга темно-серых линий, расположенных по дугообразным кривым. По таким трещинам происходит первичное смещение пород с образованием ступеней проседания, которые непосредственно различаются при стереоскопическом рассматривании аэрофотоснимков. Значительно более постоянным, но еще не в полной мере оцененным признаком элемента подготовки оползней-блоков служит появление сообществ влаголюбивых растений. Они появляются в виде полукруглых или почти прямолинейных полос на склонах, сложенных рыхлыми отложениями на участках зоны трещиноватости подстилающих пород, сильно обводнены. Растительность представлена настоящими глубококорневыми фреатофитами, корни которых, очевидно, достигают обводненных пород.

Стадии возникновения и нарастающего развития рассматриваемого нами экзогенного процесса на аэрофотоснимке почти не поддаются разделению. Физиономически они выражаются в виде более или менее широкой расщелины, почти полностью отделяющей тело оползня от склона. Если тело оползня несколько опущено, так, что возник выраженный уступ, то можно говорить о нарастающем развитии процесса. Чем менее выражен уступ, тем ближе стоит процесс к возникновению. Эти различия могут быть уловлены стереоскопически, но они довольно условны. Часто по расщелине наблюдаются выходы родников. Разливаясь по оползневому склону, они часто образуют характерные фигуры в виде более или менее равнобедренных треугольников, имеющих у вершины место выхода родника. На местности эти площади обычно заняты влажными лужайками с осоками, ситниками и др.

Стадия кульминации выражена вполне отчетливо. Ею является молодой, но вполне сформированный оползень-блок, не измененный процессами выветривания, размыва и зарастания. В подобном, типично выраженном оползне-блоке можно выделить основные элементы: надоползневой откос, оползневой цирк со стенками срыва тела оползня, т.е. сместившиеся массы пород иногда расчленены вторичными трещинами и имеют ступенчатую форму (рис. 9.8).

На аэрофотоснимках форма оползня-блока циркообразная или фронтальная, но обычно всегда несколько изогнутая, рисунок дугообразно-полосчатый, сочетающий участки со светлым и темным фототоном, что зависит от распределения растительности и выходов грунтовых вод. Наблюдается чередование бесструктурных участков (обнаженные породы в разной мере увлажненные) и зернистых (там, где сохранилась растительность). Граница цирка с надоползневым откосом обычно очень четкая. По бортам граница цирка прерывистая. На верхней границе цирка часто видны фрагменты влаголюбивой растител-

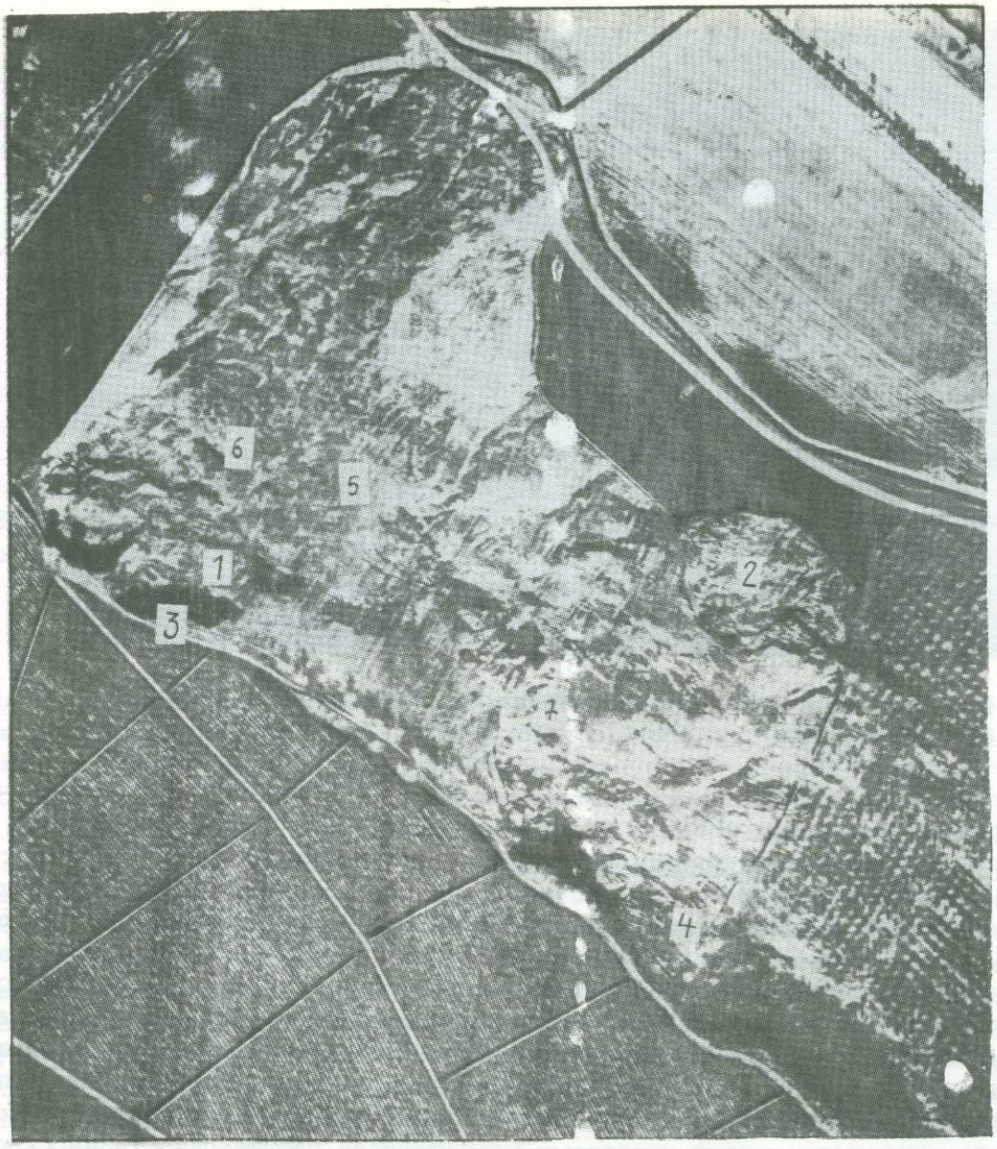


Рис. 9.8. Аэрофотоизображение сложного оползневого массива с хорошо выраженными свежими оползнями-блоками (1) и оползнями потоками (2); оползневые цирки (3), стенки срыва (4), оползневые уступы (1), оползневые блоки (5), межблоковые понижения (6), оползневые бугры (7)

ности, причем она может частично располагаться по окраине надоползневого откоса по верхнему краю тела оползня. Размеры оползневого тела обычно большие, глубина захвата склона процессом более 10–15 м. Стереоскопичная различимость отдельных частей оползня хорошая. Форма тела оползней-блоков имеет определенное индикационно-дешифровочное значение. Типично циркообразная форма характерна для оползней в глинистых и песчано-глинистых породах, удлиненно-фронтальная характерна для полускальных пород.

Стадия последствий процесса крайне разнообразна, так как в сущности представляет собой как бы особый и весьма длительный процесс старения сформировавшегося оползня. Физиономически для нее характерно постепенное зарастание участков обнаженной породы, сглаживание форм оползневого рельефа и наложение процессов эрозии. При этом различимость разных частей оползней на аэрофотоснимках ухудшается, так как стенки срыва зарастают, границы цирка становятся хуже заметными, и временами бывает трудно точно отличить цирк от самого оползневого тела. Некоторую помощь при этом может оказать дешифрирование висячих болот, формирующихся в тыловой части старых оползней-блоков. Оползневое тело может быть расчленено эрозией почти до полной неузнаваемости и даже совсем смыто. Поэтому наиболее стойкой составляющей стадии последействий процесса является оползневой цирк, который может быть сильно переработан

5386

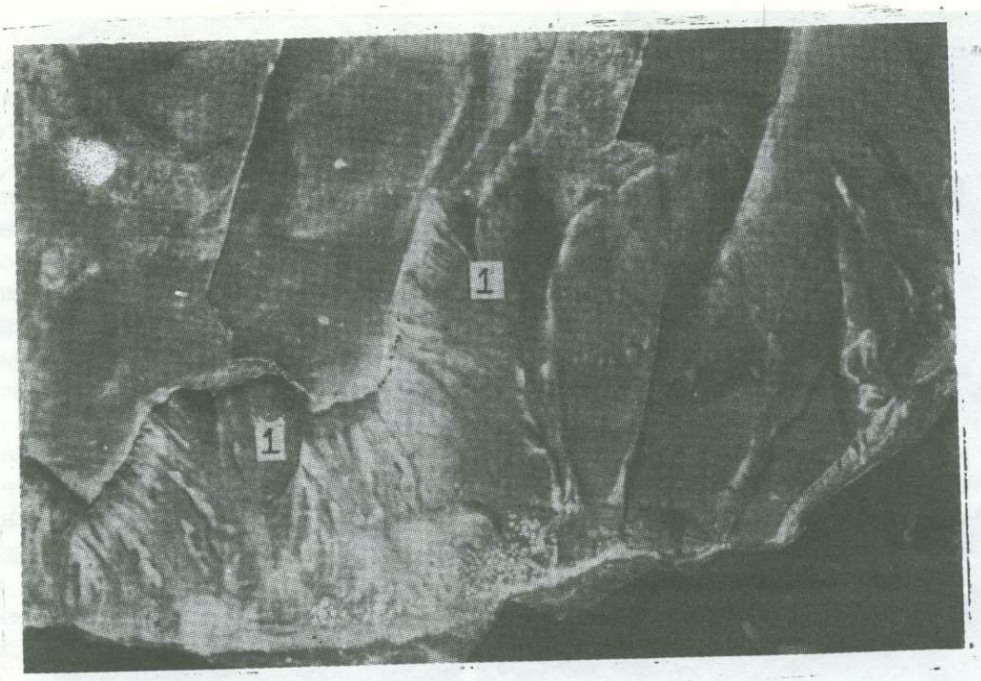


Рис. 9.9. Аэрофотоизображение древнего эрозионно-оползневого цирка (1)

эрозией, но все же не теряет своих специфических очертаний. Такой цирк может быть назван эрозионно-оползневым (рис. 9.9).

Оползни-потоки, оплывины, сплывы и срывы имеют много общих морфологических черт и развиваются, как правило, в рыхлых поверхностных отложениях, отличаясь между собой лишь по размерам создаваемых форм и глубине захвата пород. Вследствие этого мы будем рассматривать эти группы оползней совместно. Они широко представлены в области развития лессов и лессовых пород и в песчано-суглинистых отложениях. Развитие указанных видов оползневых процессов связано, главным образом, с водонасыщением поверхностных отложений за счет атмосферных осадков или выходов подземных вод с последующим смещением пород в виде потоков, сплывов, оплывин или срывов.

Стадии подготовки этих процессов можно наблюдать лишь для крупных оползней-потоков. Они бывают представлены участками влаголюбивой растительности на склонах, которые отчетливо наблюдаются в позднелетний и осенний периоды по контрастности зелени на фоне выгоревшей растительности. На аэроснимках такие участки обнаруживаются в виде аномальных более темных пятен.

В отдельных случаях устанавливается и стадия возникновения оползней-потоков. Морфологически она выражается на аэроснимках в виде пятен с шагреневым рисунком, образованным формированием на склонах небольших натечных бугров и трещин с сохранением естественного почвенно-растительного покрова.

Стадии нарастающего развития и кульминации быстротечны, трудно разделимы между собой, но имеют характерные черты в виде свежих оползневых форм без следов размыва и зарастания. На аэроснимках такие оползневые формы выражаются в виде пятен вытянутой формы светлого тона, резко контрастирующих с окружающим фоном межоползневых пространств.

Оползни-потоки захватывают различные участки склонов крутизной 20-40°, и для них характерна глетчеровидная, ложкообразная или, реже, грушевидная форма. Длина их (от 50 м до 2 км) намного превосходит ширину (от 10 до 300 м), высота стенок срыва достигает иногда 20-30 м. На аэроснимках глетчеровидные оползни-потоки дешифрируются по форме узких рукавообразных впадин и характерному натечному рисунку неоднородного тона с дугообразными складками, расположенными поперек склона. По бокам краям оползней обычно хорошо заметны канавообразные борозды.

Ложковидные оползни-потоки, в отличие от глетчеровидных, имеют широкую и округлую вершину в головной части и узкий рукавообразный канал сброса оползневой породы в нижней части оползневого цирка. На аэроснимках такие оползни выделяются по вытянутым полосам светлого тона натечной структуры. При своем слиянии глетчеровидные и

ложковидные оползни могут образовывать более сложную дендритовидную форму. Такие оползни формируются при слиянии нескольких оползней, имеющих общий канал сброса. На аэроснимках они имеют ветвистый рисунок изображения неоднородного тона, зернистой, гомогенной или натечной структуры.

Оплывины возникают на склонах крутизной 20–50° и имеют меньшие размеры. Ширина их достигает 300 м при длине до 500 м. Они имеют каплевидную или грушевидную форму в плане с характерным и преимущественно линейным типом роста.

6. Фотограмметрические методы наблюдений за оползневыми и селевыми процессами

Методы фотограмметрии относятся к числу дистанционных и являются разновидностью геодезических методов наблюдений. Непосредственные натурные измерения здесь заменяются измерениями изображения на фотоснимке. По способу получения этих снимков методы можно разделить на две группы: аэрофотосъемка и наземная фотограмметрическая съемка. В первом случае используется воздушный носитель (самолет, вертолет), во втором – фотографирование производится с наземных точек стояния.

Аэрофотометоды

Аэрофотосъемка при наблюдении за оползневыми и селевыми процессами может применяться, прежде всего, для оценки площадей пораженности этими процессами, их классификации и выявления новых очагов. Фотограмметрические измерения аэрофотоснимков дают также возможность получения количественной информации об оползне, размеры и площадь оползня и селевого очага, уклоны, профили, относительная высота оползневых ступеней, ширина и длина трещин, высоты стенок срыва, глубины эрозионных врезов и т.д. Ценность материалов аэрофотосъемки еще и в том, что на основании их могут параллельно вестись наблюдения и за некоторыми другими процессами, так или иначе связанными с оползнями и селями.

В решении перечисленных задач аэрофотометоды не имеют конкурентов. Они могут быть применены также и для наблюдения за ходом процесса, например, оползневыми смещениями, но в этом случае возможности метода ограничиваются его точностью, уступающей точности наземных геодезических методов. Кроме того, применение аэрофотосъемки для наблюдения за отдельными небольшими по величине, очагами, экономически не всегда оправдано. Поэтому вопрос о целесообразности и форме применения аэрофотометодов всегда решается с учетом их стоимости, объема предстоящих работ, поставленных задач, степени активности оползневых процессов.

Фотограмметрические методы измерения аэрофотоснимков можно подразделить на строгие, использующие точные математические зависимости, прецизионные измерительные приборы, и упрощенные, основанные на использовании относительно простых измерительных средств. Отличительной чертой последних является то, что при их использовании не учитываются (или учитываются в неполной мере) искажения снимков за углы наклона в момент фотографирования. Упрощенные методы, значительно уступая строгим по точности, имеют то преимущество, что они менее трудоемки, просты, не требуют дорогого оборудования. Те и другие методы достаточно подробно описаны в специальной литературе [1, 6, 7, 8]. Поэтому здесь мы остановимся только на тех их особенностях, которые в той или иной степени относятся к наблюдению за оползнями и селями.

Точность, которую обеспечивают строгие фотограмметрические методы в зависимости от масштаба фотографирования и фокусного расстояния фотокамеры, характеризуется средними квадратическими ошибками получаемых координат. Эти ошибки приведены в таблице, составленной по данным работы [11]. Из таблицы 9.4 следует, что ошибки определения положения точек по снимкам даже крупного масштаба – 1:5 000, составляют величину порядка 0,2 м. Из этого можно заключить, что применение аэрофотоснимков для измерения оползневых смещений возможно при наличии смещений между двумя аэрофотосъемками не менее 0,5–1,0 м.

5386

Таблица 9.4

Ошибки координат, определяемых фотограмметрическим методом

Масштаб фотографирования	Среднеквадрат. ошибка планового положения, м	Среднеквадратическая ошибка по высоте, м			
		фокусное расстояние, мм			
		200	140	100	70
1:20 000	±1,0	-	± 0,5	± 0,4	±0,3
1:15 000	0,75	0,4	0,4	0,3	0,3
1:10 000	0,5	0,4	0,25	0,25	0,2
1:5 000	0,25	0,2	0,2	0,2	0,15

Весьма эффективно наблюдение с применением строгих фотограмметрических методов за переформированием склона. В этом случае осуществляется построение вертикального профиля в направлении падения склона с использованием материалов первоначальной аэрофотосъемки. Затем по снимкам повторной съемки строится в том же вертикальном сечении повторный профиль. Сопоставление профилей дает наглядную картину произошедших изменений. Одновременно с построением профилей, по тем же снимкам, могут быть измерены и оползневые смещения в районе профиля. Для этой цели могут быть использованы местные предметы, перемещающиеся вместе с телом оползня, но, как показывает опыт, точность и надежность таких измерений значительно повышаются при предварительном маркировании точек, как смещающихся (реперы смещения), так и неподвижных (опорных и связующих), относительно которых производится измерение смещений и совмещение разновременных моделей. Весьма важным обстоятельством при использовании аэрофотоматериалов является возможность обзора и выбора на стадии камеральной обработки снимков, наиболее интересных участков для последующих измерений, а также возможность возвращения к тем же материалам для последующих проверок или уточнений.

Особо следует остановиться на геодезической подготовке участков аэрофотосъемки, которая проводится для внешнего ориентирования создаваемой геометрической модели. Эта подготовка включает в себя определение наземными геодезическими методами координат ряда точек, опознающихся на снимках, и является обязательной при задачах картографирования территории, обеспечивая систему координат строящегося плана и точное масштабирование модели. Однако при наблюдениях, имеющих целью выявление хода оползневого процесса на объекте съемки, требования к объему и точности геодезической подготовки во многих случаях могут быть существенно снижены. Главным требованием в этом случае является совмещение с максимальной точностью координатных систем двух разновременных геометрических моделей и построение их в едином масштабе. Это совмещение осуществляется по общим точкам связи, выбираемым вне зоны изменений. Небольшой же наклон общей системы относительно уровневой поверхности и относительно небольшие ошибки масштаба совмещенной модели не имеют, в большинстве случаев, существенного значения. Исходя из этого, внешнее ориентирование и масштабирование модели могут быть приближенными с использованием имеющегося картографического материала или данных радиовысотомера.

При фотографировании склонов значительной крутизны и береговых съемках весьма эффективным может быть применение перспективной аэрофотосъемки. Эта съемка отличается от плановой значительным (30–60°) отклонением оптической оси фотообъектива от вертикали. Преимуществом ее перед плановой в данном случае является более выгодный ракурс снимков, повышающий их информативность, а при съемке берегов – более выгодное распределение на снимке изображений воды и суши. Опыт перспективного аэрофотографирования оползневых и селевых участков с вертолета в масштабах порядка 1:4000 – 1:6000 показал хорошие результаты. Несмотря на присущую этим машинам повышенную вибрацию, качество снимков удовлетворяет требованиям дешифрирования и фотограмметрических измерений при условии не слишком большого фокусного расстояния фотообъектива (порядка 100 мм) и выдержках не более 1/700 с.



Рис. 9.10. Оползневой склон берега водохранилища. Показано местоположение фотограмметрического профиля. Перспективный аэрофотоснимок

При перспективном фотографировании удобны в работе малогабаритные аэрофотокамеры (например А-39 с форматом кадра 7 × 8 см и фокусным расстоянием 100 мм); хотя точность построения геометрической модели по снимкам малого формата несколько снижается. Фотограмметрические измерения перспективных аэрофотоснимков и математическую обработку этих измерений целесообразно проводить на основе аналитического метода (стереокомпаратор и ЭВМ), так как универсальные фотограмметрические приборы, как правило, приспособлены для обработки только плановых аэроснимков. На рис. 9.10 представлен один из перспективных снимков участка берега водохранилища со значительно активизированными оползневыми процессами, а на рис. 9.11 – совмещенные профили, построенные по этим снимкам. Активизация процесса в данном случае связана с абразионной переработкой берега.

Упрощенные методы фотограмметрической обработки применяются, как правило, для плановых аэрофотоснимков и могут служить дополнением к дешифрированию на них проявлений оползневых, селевых и всех сопутствующих им процессов. Применение этих мето-

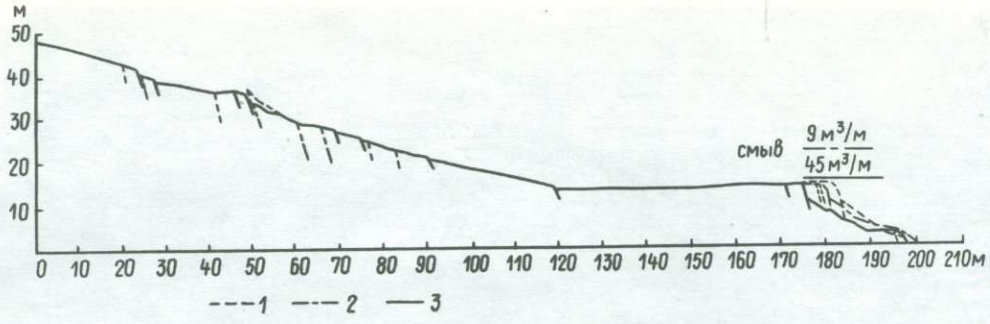


Рис. 9.11. Совмещенные профили берегового склона, построенные по перспективным аэрофотоснимкам разных лет. 1 - 1978 г. 2 - 1979 г. 3 - 1980 г.

дов целесообразно, если нет необходимости в высокоточных измерениях, или измеряются малые по протяженности элементы исследуемого объекта. Неучитываемые искажения за углы наклона снимков могут достигать при коротких фокусных расстояниях величин 0,5-0,9 мм, что и ограничивает точность линейных измерений по снимку. Однако при измерении коротких линий (например, ширины трещины) эти измерения могут проводиться с большой точностью, так как искажения двух близких точек практически одинаковы. Упрощенные методы можно подразделять на измерения одиночного снимка и измерения стереопары. Первые обычно применяются при обработке снимков равнинных и слабохолмистых районов, так как основной источник искажений в данном случае - смещение точек снимка вследствие влияния рельефа. Ввиду того, что оползневые процессы зачастую приурочены к склонам значительной крутизны, большинство селевых очагов расположены в горной местности, измерительные возможности одиночного снимка ограничены.

Основные формулы определения длины и площади по этим методам имеют вид:

$$L = l \cdot M \cdot 10^{-3}; \quad S = s \cdot M^2 \cdot 10^{-4}; \tag{9.1}$$

где L - длина линии на местности (в м)
l - " - снимке (в мм)
M - знаменатель среднего масштаба снимка
S - площадь на местности (в $м^2$)
s - площадь, измеренная на снимке (в $см^2$)

В целях уменьшения искажений за рельеф для измерений следует выбирать снимки, на которых объект располагался бы возможно ближе к центральной части.

Измерения по стереопаре снимков позволяют получать трехмерные характеристики объекта и учитывать искажения за рельеф, т.е. дают возможность применения упрощенного способа измерений и для районов со значительным расчленением рельефа. Однако следует иметь в виду, что, поскольку искажения снимков за углы наклона при упрощенных способах не учитываются, измерение превышений возможно только между близко расположенными точками, искажения для которых практически одинаковы. Например, может быть измерена высота стенки срыва или глубина эрозионного вреза.

Для измерений обычно используются приборы упрощенного типа: измерительный стереоскоп или стереоскоп с параллаксометром, позводяющие получать разности продольных параллаксов с ошибками порядка 0,02-0,04 мм.

Основными рабочими формулами упрощенного метода стереоизмерений можно принять следующие:

$$\left.\begin{aligned} h &= H_1 \frac{p_2 - p_1}{p_2}; \\ \Delta r &= r_2 \frac{p_2 - p_1}{p_2}; \end{aligned}\right\} \tag{9.2}$$

где: h - превышение точки 2 над точкой 1;
Δr - поправка в положение точки 2 на снимке за ее превышение над точкой 1;
H_1 - высота фотографирования над точкой 1;
r_2 - расстояние точки 2 от главной (центральной) точки снимка;
p_1, p_2 - продольные параллаксы точек 1 и 2.

Относительная ошибка определения превышений выражается формулой

$$\frac{\delta_h}{H} = \frac{\delta(\Delta p)}{p} \cdot \frac{H}{h}; \qquad (9.3)$$

где $\delta(\Delta p)$ – ошибка измерения разности продольных параллаксов.

По ней можно подсчитать соотношение $H:h$, необходимое для достижения данной точности определения превышений. Например, если заданная точность $\geqslant 10\%$, $\delta(\Delta p) = 0{,}02$ мм, $p = 70$ мм, искомое соотношение будет

$$\frac{H}{h} = \frac{1}{10} \cdot \frac{70}{0{,}02} = 350$$

При высоте фотографирования, например, 700 м, заданная точность измерений будет обеспечена для превышений, достигающих 2 м и более.

Методы наземной фотограмметрии

Наблюдения за оползневыми и селевыми процессами с применением наземной фотограмметрической съемки имеют давние традиции. Достоинствами метода являются детальность, наглядность, возможность измерений на недоступных расстояниях, быстрота производства работ. Недостатки, как и у каждого фотограмметрического метода, – необходимость в последующей, иногда сложной камеральной обработке снимков, трудности транспортировки высокоточной и довольно громоздкой съемочной аппаратуры, иногда недостаточная обзорность участка, если поблизости нет возвышенных точек для фотографирования. Поэтому вопрос о применении данного метода должен решаться в зависимости от условий фотографирования участка, степени активности процессов, необходимых сроков выдачи результатов наблюдений. Немалое значение имеет также то обстоятельство, что метод позволяет зачастую обходиться без маркирования наблюдаемых точек; это может иметь иногда решающее значение при выборе способа наблюдений.

Основным инструментом наземной фотограмметрии является фототеодолит (например, Photheo 19/1318) или универсальная съемочная камера типа UMK 10/1318 (оба производства фирмы К.Цейсс). Для измерений снимков служат стереокомпаратор или стереоавтограф. Фототеодолитная съемка в ее "классическом" варианте может применяться для целей крупномасштабного картирования наблюдаемого участка. Методики такой съемки и камеральной обработки снимков подпробно описаны в специальной литературе [8, 12]. В данной работе рассмотрена только специфика применения метода для наблюдения за оползневыми смещениями и переформированием склонов. Эти наблюдения обычно составляют основное содержание геодезических работ при изучении режима развития оползней.

Методически применение фототеодолитной съемки для измерения смещений может иметь две разновидности: а) сравнение между собой пространственных координат одной и той же точки, определенных в одной системе по двум стереопарам, полученным в разное время; б) непосредственное сравнение разновременных снимков одного и того же объекта и получение величин смещения по изменению координат фотоизображения точки.

Второй способ, который называют иногда дифференциальным, имеет бесспорное преимущество как в отношении точности, так и производительности. Применение его зачастую позволяет отказаться от трудоемких полевых методов контроля элементов внешнего ориентирования снимков, заменив их чисто камеральными методами выявления и учета элементов взаимного ориентирования разновременных снимков. Описываемые ниже способы относятся к числу дифференциальных.

В зависимости от задач и условий съемки фотографирование может быть произведено в различных вариантах: с одной точки стояния инструмента, с двух точек стояния (с базиса). Последний включает в себя параллельное и конвергентное фотографирование. При наблюдениях за оползневыми смещениями наиболее простым и в то же время весьма точным способом является периодическое фотографирование участка с одной неподвижной точки стояния с постоянными элементами внешнего ориентирования снимков (рис. 9.12). Разновременные снимки сравниваются на стереокомпараторе, и по измеренным продольному и поперечному параллаксам смещения вычисляются элементы смещения точки. По-

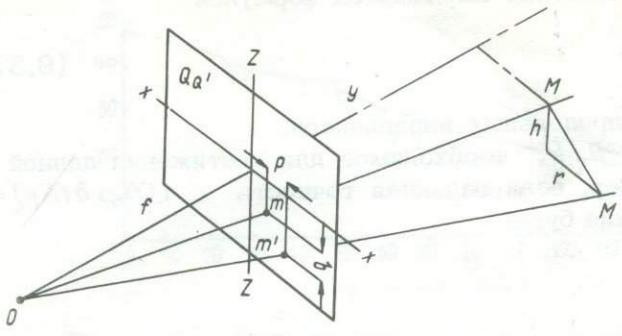


Рис. 9.12. К определению смещений по разновременным снимкам, полученным с одной точки стояния: f – фокусное расстояние фотокамеры, Q, Q' – плоскости разновременных снимков, M, M' – положение точки на два момента времени, m, m' – изображение той же точки на снимках в те же моменты времени, O – центр проекции

лученные значения являются не самим вектором смещения, а его проекцией на плоскость, параллельную плоскости снимка. Поэтому при выборе направления фотографирования фотокамера устанавливается таким образом, чтобы плоскость снимка была примерно параллельна направлению предполагаемых смещений. Для получения величины смещения, более близкой к истинной длине пространственного вектора, может быть использован взятый с плана приближенный угол γ между перпендикуляром к направлению фотографирования и предполагаемым направлением движения репера. С учетом этого угла и поправки за изменение элементов ориентирования, рабочие формулы для определения горизонтальной и вертикальной составляющих вектора смещения имеют вид:

$$\left.\begin{aligned} r_i &= A_i(p_i - p_k); \\ h_i &= B_i(q_i - q_k); \end{aligned}\right\} \qquad (9.4)$$

где $A_i = \dfrac{Y_i}{f \cdot \cos\gamma}$; $B_i = \dfrac{Y_i}{f}$.

p_i, q_i – параллаксы смещения, измеренные для наблюдаемой точки;

p_k, q_k – то же для неподвижной (контрольной) точки;

Y_i – отстояние наблюдаемой точки, измеряемое параллельно оптической оси фотокамеры.

Последняя величина может быть известна в значительной степени приближенно. Коэффициенты A_i и B_i обычно являются практически постоянными на весь период наблюдений. Ошибку определения смещений при данном способе для фотокамер с фокусным расстоянием, близким к 200 мм, можно приближенно оценить как 1:20 000 от величины отстояния, т.е. ±1 см на каждые 200 м. Это дает возможность конкурировать по точности с рядом геодезических методов. Кроме того, способ сравнения разновременных снимков обеспечивает возможность легко опознавать на них местные предметы, находящиеся в зоне оползня, и использовать их как репера смещения. Это позволяет иногда значительно уменьшить число закрепленных реперов.

Как уже отмечалось, наблюдения с одной точки стояния фиксируют смещения только в плоскости, параллельной плоскости снимка. Этот недостаток отсутствует при фотографировании с двух точек (с базиса), когда может быть получен полный вектор смещения. Такое фотографирование производится в двух вариантах: съемка в сходящихся направлениях (конвергентная) и параллельная съемка. Последняя более проста в обработке, но по точности значительно уступает конвергентной, что имеет иногда решающее значение при измерении небольших смещений. При конвергентной съемке ошибку определения длины вектора смещения можно приближенно оценить, как 1:10 000 – 1:15 000 часть от среднего отстояния точки.

Параллельное фотографирование – наиболее широко применяемый вид фототеодолитной съемки. Полученные стереопары могут использоваться для стереоскопического просмотра, стереоизмерений и построения геометрической модели местности. По ним при пери-

одическом фотографировании могут производиться и измерения смещений, но с точностью в 3–5 раз меньшей, чем при конвергентной съемке. Поэтому параллельное фотографирование можно использовать при значительных подвижках, а также для построения профилей склона и получения величин, характеризующих его переформирование. Решение последней задачи может быть осуществлено путем построения совмещенных профилей по всей длине склона или в отдельных его частях, определения изменений высот стенок отрыва, величин перемещения трещин и т.д. Все это делается путем построения по снимкам, полученным с постоянного базиса, разновременных геометрических моделей и их сравнения. Методика обработки должна предусматривать, насколько это возможно, устранение влияния деформации моделей вследствие ошибок элементов ориентирования снимков. Это осуществляется корректировкой одной из моделей по неподвижным точкам связи с предыдущей, принятой за исходную. Такой прием позволяет полностью или частично отказаться от традиционного геодезического контроля стереопары и связанных с ним дополнительных дорогостоящих работ. Однако следует иметь в виду наличие неустраненных деформаций, если одна из моделей используется для получения морфометрических характеристик склона. Например, ошибка конвергенции равная, 30″, приводит к деформации линий, расположенных вдоль направления фотографирования, на 1:500 их длины. Следовательно, для получения точных морфометрических характеристик склона необходим геодезический контроль стереофотосъемки. При получении величин, характеризующих относительные изменения на склоне, геодезический контроль может быть заменен корректировкой модели по неподвижным точкам связи с предыдущей.

К наземной стереофотосъемке можно условно отнести и стереофотографирование берегового склона с борта судна. Этот вид работ часто целесообразен при наблюдениях за оползневыми склонами на берегах рек и водохранилищ. Судно служит и транспортным средством, позволяющим в короткие сроки произвести обследование многих участков, а также и съемочной площадкой для фотографирования в ракурсе более выгодном, чем позволяют береговые точки стояния. Снимки могут использоваться как фотодокумент состояния склона на данный момент времени и исходный материал для стереоизмерений, наиболее ценным результатом которых будут, очевидно, величины произошедших изменений за время между двумя съемками. В качестве съемочной аппаратуры могут использоваться аэрофотокамеры или универсальные фотокамеры, снабженные высокоскоростным затвором.

Существуют два принципиально отличных между собой способа стереофотосъемок с борта судна. Один из них основан на синхронном фотографировании двумя фотокамерами, помещенными на борту (рис. 9.13а). Расстояние между ними образует базис фотографирования. Направление оптических осей взаимно параллельно и перпендикулярно базису. Фотограмметрическая обработка снимков производится аналогично обработке нормального случая фототеодолитной съемки. Дополнительным является только процесс внешнего ориентирования модели для устранения ее наклонов вследствие качки судна.

При втором способе фотографирование производится одной фотокамерой с перемещающегося судна, когда базис образуется перемещением за время между двумя экспозициями (рис. 9.13 б). Достоинствами способа являются: возможность использовать небольшое судно (катер, шлюпка); простота съемочной аппаратуры, возможность выбора оптимальной длины базиса. Недостатки: более сложный, чем в первом случае, процесс камеральной обработки снимков; возможность применения только для относительно высоких берегов. Фотографирование по второму способу может производиться для любого участка берега, где высота верхней части склона относительно фотокамеры составляет не менее 1/8 – 1/10 отстояния этих же точек. Второе условие – вертикальные колебания судна на волнах не должны превышать 0,2–0,3 м. Геодезическая подготовка участка в простейшем варианте заключается в установке двух–трех маркированных точек, попадающих на одну стереопару, с измеренными между ними расстояниями, приведенными к горизонту.

Для фотограмметрической обработки снимков может быть использован один из универсальных приборов, имеющих систему переключения координатных осей для обработки наземных снимков (стереопланиграф, стереометрограф, топокарт). Взаимное ориентирование снимков на приборе основано на использовании изображения линии уреза воды для определения углов крена снимков и измеренных вертикальных параллаксов в верхней части склона, позволяющих определить их горизонтальные углы разворота. Определение масштаба полученной геометрической модели осуществляется по двум или более берего-

5386

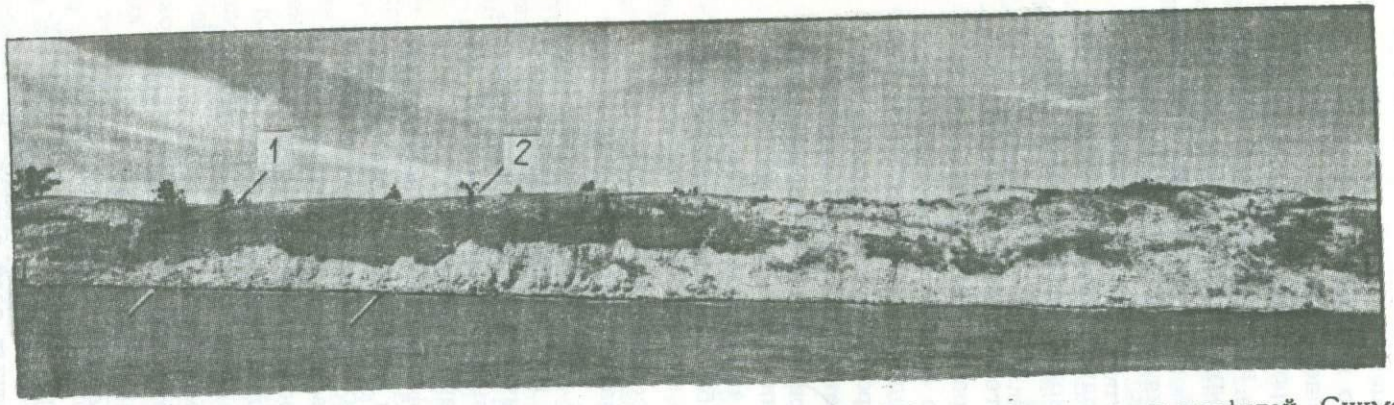


Рис. 9.14. Участок берега водохранилища. 1,2 – показаны местоположения фотограмметрических профилей. Снимок с борта судна, 1970 г.

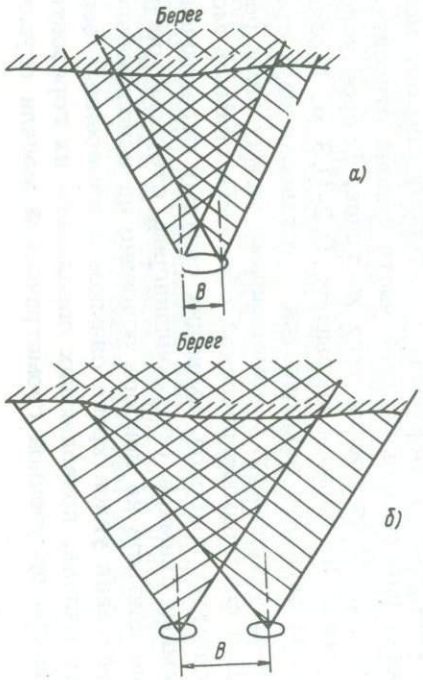


Рис. 9.13. Схемы стереофотосъемки с борта судна: а) двумя синхронными фотокамерами; б) одной фотокамерой; В – базис фотографирования

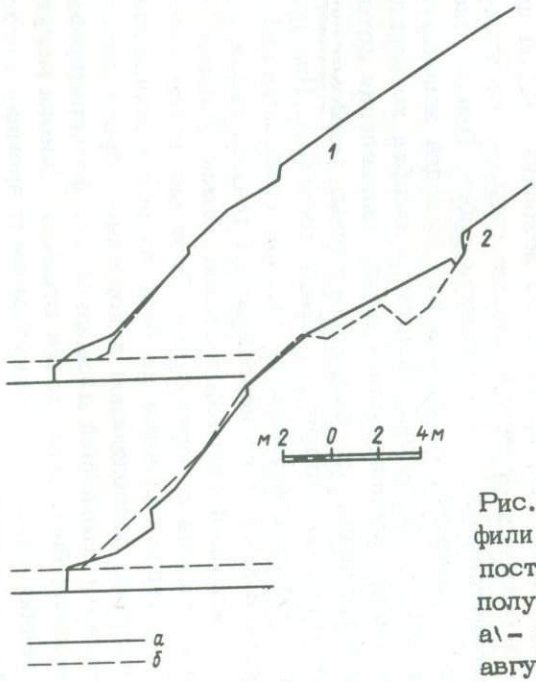


Рис. 9.15. Совмещенные профили берегового склона 1 и 2, построенные по снимку 9.14, полученному с борта судна: а – на июль 1970 г., б – на август 1971 г.

вым опорным точкам. Более подробно этот метод описан в работе [5].

Точность определения координат точек при использовании данного метода зависит от расстояния, с которого произведено фотографирование, высоты снимаемого берега, ширины береговой полосы, в пределах которой ведется обработка снимков, фокусного расстояния фотообъектива. Например, при ширине снимаемой полосы 50 м, отстоянии берега 200 м, высоте верхней части склона относительно фотокамеры 30 м, фокусном расстоянии 100 мм можно ожидать, что величина средних квадратических ошибок координат будет порядка 0,3 м в плане и 0,1 м по высоте. При увеличении фокусного расстояния фотокамеры точность определения координат повышается.

Получаемая точность достаточна для измерений по снимкам величин абразии, если эти величины достигают 1 м и более. На рис. 9.14 представлен фотоснимок абразионно-оползневого участка берега водохранилища, а на рис. 9.15 – совмещенные профили, построенные по этим снимкам, показывающие величины абразии в пределах участка и переформирование склона.

Литература

1. Бобир И.Я., Лобанов А.И., Федорук Г.Д. Фотограмметрия. М.: Недра, 1967, 470 с.
2. Викторов С.В. Ландшафтные индикаторы гидрогеологических и инженерно-геологических условий в районах орошения и обводнения пустынь. М.: Недра, 1976, 56 с.
3. Виноградов Б.В. Преобразованная земля. М.: Мысль, 1981, 295 с.
4. Гудилин И.С., Комаров И.С. Применение аэрометодов при региональных гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. М.: Недра, 1978, 319с.
5. Книжников Ю.Ф., Никулин Ф.В., Федоренко В.С. Склоновые процессы. Изд-во МГУ, 1977, 165 с.
6. Лобанов А.И. Аэрофототопография. М.:Недра, 1978, 575 с.
7. Михайлов А.Е., Рамм Н.С. Аэрометоды при геологических исследованиях. М.: Недра, 1975, 198 с.
8. Петрусевич М.И. Воздушная и наземная стереофотосъемка при геологических исследованиях. Изд-во МГУ, 1976, 262 с.
9. Садов А.В. Аэрометоды изучения селей. М.: Недра, 1972. 125 с.
10. Садов А.В. Изучение экзогенных процессов аэроландшафтными методами. М.: Недра, 1978, 151 с.
11. Соколова И.А. Технология крупномасштабных аэротопографических съемок. М.: Недра, 1973, 183 с.
12. Трунин А.П., Финаревский И.И., Чистяков С.В. Фототеодолитная съемка в крупных масштабах. М.: Недра, 1970, 204 с.

Глава 10

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ

Общие положения

В последнее время к изучению оползней и селей все шире привлекаются геофизические методы. Общим достоинством этих методов является возможность изучения массивов горных пород в условиях естественного залегания для получения непрерывной информации в пространстве и во времени. Из геофизических методов наибольшее практическое применение находят сейсмоакустические[x)] и электроразведочные методы. Сравнительно недавно к изучению оползней и селей начали успешно привлекать высокоточные гравиразведку и магниторазведку.

x) Под сейсмоакустическими понимаются методы, основанные на изучении полей упругих колебаний в широком диапазоне частот: от инфра- до ультразвуковых.

5386

Сейсмоакустические методы

Сейсмоакустические методы основаны на изучении полей упругих колебаний, распространяющихся в горных породах в результате искусственного внешнего воздействия (взрыва, удара и т.д.) или возникающих при развитии некоторых процессов – естественных либо связанных с деятельностью человека. Структура поля упругих колебаний, а также сейсмические свойства пород, определяемые в процессе сейсмоакустических измерений, тесно связаны со строением среды, а также с составом, состоянием и физико-механическими свойствами горных пород. Это позволяет использовать сейсмоакустические методы для изучения геологического строения и гидрогеологических условий оползневых или селевых участков, а также для оценки показателей инженерно-геологических свойств пород в массиве. Поскольку развитие оползневых и селевых процессов вызывает изменения в строении среды, а также в состоянии и свойствах пород, сейсмоакустические методы могут использоваться для контроля за развитием этих процессов. С этой целью ставятся режимные сейсмоакустические наблюдения.

Методика сейсмоакустических исследований на оползневых и селевых участках может быть весьма разнообразной и зависит от поставленной задачи и геологических особенностей изучаемого участка. В особо сложных условиях комплекс сейсмоакустических методов может включать разночастотные наблюдения на поверхности и во внутренних точках среды при использовании волн разных классов и типов. Своеобразие методики сейсмоакустических исследований селевых и особенно оползневых участков заключается в проведении разноазимутальных измерений. Это имеет особенно большое значение при выполнении режимных сейсмоакустических наблюдений.

В процессе сейсмоакустических измерений определяются скорости продольных (V_P), поперечных (V_S), поверхностных Рэлея (V_R) и Лява (V_L) волн, а также коэффициенты анизотропии для продольных ($\varkappa_P$) и поперечных ($\varkappa_S$) волн. При производстве режимных наблюдений важное значение приобретает определение динамических характеристик продольных и поперечных волн: коэффициентов (a_P, a_S) и декрементов (ϑ_P, ϑ_S) поглощения, либо эффективных коэффициентов ($\bar{a}_P$, $\bar{a}_S$), и декрементов ($\bar{\vartheta}_P$, $\bar{\vartheta}_S$) затухания.

Следует отметить, что при обработке данных режимных сейсмоакустических наблюдений нередко измеряют не скорости, а времена прихода в ту или иную точку некоторой фазы волны. Это связано с тем, что точность определения времени прихода экстремума значительно выше, чем времени прихода первого вступления, а для анализа результатов режимных наблюдений наибольший интерес представляют не абсолютные значения некоторых характеристик, а их относительные изменения во времени.

Электроразведочные методы

В основе электроразведки лежит изучение распространения в Земле естественного или искусственного электромагнитного поля. При гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях, как правило, используется искусственное поле постоянного тока и естественное электрическое поле фильтрационного и электрохимического происхождения. Измеряется удельное электрическое сопротивление ρ, Ом.м (в общем случае эффективное или кажущееся); поляризуемость горных пород - η, %; напряженность естественного электрического поля – E, мВ. Реже измеряются параметры анизотропии электрического сопротивления и поляризуемости (направление главных осей и коэффициента анизотропии удельного электрического сопротивления и поляризуемости горных пород). Удельное электрическое сопротивление и поляризуемость горных пород существенно зависят от их водонасыщенности, минерализации водных растворов, структуры, текстуры, состава и состояния пород. Параметры анизотропии электрического сопротивления и поляризуемости в основном определяются структурой и текстурой горных пород. Многофакторный характер зависимости ρ и η, с одной стороны, обеспечивает широкую область применения электроразведки, а с другой, – требует в зависимости от характера решаемой задачи в каждом конкретном случае гидрогеологической и инженерно-геологической привязки.

Наибольшее развитие при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях получила электроразведка в модификациях зондирования и электропрофилирования. Как правило, используются симметричные градиент-установки $AMNB$, реже – установки ме-

тода двух составляющих (МДС). Особенностью применения электроразведки при изучении оползней и селей является повышенная густота сети наблюдений, сгущение разносов питающей линии при производстве электрических зондирований и использование многоазимутальных измерений. С целью изучения динамики оползневых или селевых процессов ставятся режимные электроразведочные наблюдения. В этом случае особо важное значение приобретает измерение параметров анизотропии электрического сопротивления [6].

Гравиразведочные методы

Гравиразведка при исследовании оползней и селей основана как на изучении силы тяжести путем единовременных (разовых) ее измерений, так и на анализе ее изменений во времени с помощью многократных (режимных) наблюдений.

Известно, что величина силы тяжести на том или ином участке зависит от плотностных особенностей слагающих участок горных пород и условий их залегания. Поэтому данные о силе тяжести, полученные путем разовых измерений, способствуют изучению геологической структуры участков развития оползней и селей, которая во многом определяет режим процессов. Сведения о том, что на оползневых участках наблюдаются изменения силы тяжести во времени и что закономерности таких изменений отображают особенности как строения участков, так и развития оползневых процессов, были получены в СССР недавно [9]. Это послужило основой для разработки специальной методики гравиразведки оползней. Величина изменений силы тяжести во времени на оползнях невелика; обычно она отклоняется от своего среднего значения на 0,1–0,3 мГал, но в ряде случаев отклонение может достигать 0,4–0,8 мГал, определяясь степенью активизации оползневого процесса в период наблюдений, инженерно-геологическими особенностями места расположения пунктов, где осуществляются наблюдения, и некоторыми другими факторами. Имеющиеся данные позволяют считать, что природа изменений силы тяжести во времени в основном обусловлена двумя факторами: временными изменениями плотности пород, затронутых оползневыми процессами, и ускорениями, возникающими при вертикальных микродвижениях пород, которые могут быть обусловлены как оползневыми процессами, так и такими факторами, как изменяющаяся нагрузка на породы в связи с изменением атмосферного давления, микросейсмы и др. Если условно уподобить вертикальные микродвижения равнопеременным, то, чтобы вызвать ускорения величиной 0,1–0,2 мГал, они должны характеризоваться частотой колебаний в первые тысячные доли герца при амплитуде в первые миллиметры, что подтверждается натурными измерениями.

Инженерно-геологическому анализу обычно подвергаются аномалии Буге ($\Delta g_Б$), полученные для одних и тех же пунктов в разные циклы режимных гравиметрических измерений. Погрешность измерения силы тяжести в единичном пункте (редукция Буге) должна быть не хуже ±0,02–0,03 мГал. Для измерений применяют гравиметры высшего класса точности (это относится и к случаям, когда с целью изучения только геологической структуры участка осуществляют не режимные, а разовые гравиметрические наблюдения). При инженерно-геологическом анализе используют статистически обработанные данные режимных наблюдений. Основой подобной обработки является построение графиков среднего квадратического отклонения значений силы тяжести (σ) по режимным наблюдениям на каждом пункте.

Магниторазведочные методы

Также, как и гравиразведка, магниторазведка при изучении оползней и селей основана на изучении магнитного поля путем разовых наблюдений и на изучении изменений магнитного поля во времени с помощью режимных наблюдений в одних и тех же пунктах. Участки развития оползней и селей чаще сложены породами с низкими значениями магнитных свойств, поэтому успеху магниторазведки может способствовать применение только высокочувствительной и высокоточной аппаратуры, типа квантовых магнитометров (чувствительность 0,1 нТ, точность до ± 0,3 нТ).

Разовые магнитные наблюдения способствуют изучению литологии пород, картированию зон их повышенной трещиноватости и тектонических нарушений. Гораздо большей ин-

женерно-геологической информативностью характеризуются данные режимных наблюдений. Опыт их проведения пока накоплен только применительно к изучению оползней. Исследования последних лет, выполненные в СССР [1], показали, что магниторазведку на оползневых участках целесообразно выполнять в микромагнитном варианте (т.е. по сети 1×1 м - 2×2 м) и на разной высоте (1,2,3 м). В наблюдаемом при этом микромагнитном поле хорошо отображаются структура и текстура таких наиболее характерных для участков оползней образований, как глины, суглинки и супеси. Отображается в микромагнитном поле и вторичная текстура массива этих пород, представленная макро- и микротрещиноватостью, которая образуется в результате действия аномальных напряжений. В результате статистической обработки данных микромагнитных измерений, сделанной на ЭВМ по специальным программам, получают большое разнообразие характеристик, используемых как при оценке качества измерений, так и при изучении оползневого процесса.

При инженерно-геологической интерпретации в основном используют графики и розы изодинам аномального микромагнитного поля, построенные для разных по времени циклов наблюдений и для разной высоты последних.

2. Изучение условий развития оползней и селей

Изучение условий развития оползней

Изучение геологических условий на участках развития оползней предполагает решение следующих основных задач:

1) определение внешних границ оползня и границ между отдельными его блоками (в случаях, когда они не выделяются по геоморфологическим признакам);

2) определение глубины залегания поверхности смещения;

3) расчленение тела оползня (в плане и разрезе) на отдельные комплексы пород, различающиеся по литологическому составу, прочности структурных связей, характеру и степени трещиноватости, напряженному состоянию и т.д.;

4) определение положения уровня грунтовых вод и верховодки;

5) определение направления и интенсивности движения фильтрационного потока;

6) оценка состояния и физико-механических свойств пород оползневого склона (плотности, трещиноватости, деформационных, фильтрационных свойств и в особенности - прочностных свойств и характеристик напряженного состояния, а для районов с повышенной сейсмической активностью - и упругих свойств). В ряде случаев при изучении оползней представляют также интерес данные об особенностях залегания пород коренного ложа: о глубине и рельефе их поверхности, литолого-петрографическом составе, положении зон тектонических нарушений, закарстованности и т.д.

Ведущими геофизическими методами при изучении инженерно-геологических условий оползней являются сейсморазведка корреляционным методом преломленных волн (КМПВ) на продольных и поперечных волнах и электроразведка на постоянном токе в модификациях зондирования (ВЭЗ) и электропрофилирования (ЭП). В качестве вспомогательных методов используются высокоточная гравиразведка и магниторазведка, электроразведка методом естественного поля (ЕП) и вызванной поляризации (ВП), а также наземная термометрия (глубина измерения температуры 0,5-1 м). Сложность геологического строения оползневых массивов выдвигает ряд требований, выполнение которых является обязательным при решении вышеперечисленных задач. К их числу относятся:

1) густая сеть наблюдений, которая ориентировочно составляет:

а) для сейсморазведочных работ КМПВ и электроразведочных работ методами ВЭЗ и ВЭЗ ВП должно быть не менее 2-3 осевых и поперечных профилей на оползневой участок; оптимальное расстояние между ними соответственно 20-50 м и 20-100 м; расстояние между сейсмоприемниками 2-5 м, расстояние между точками зондирований 10-25 м;

б) для работ по методу ЭП, ЕП и термометрии расстояние между профилями 10-50м, расстояние между точками наблюдений 5-10 м;

в) для работ по высокоточной гравиразведке расстояние между профилями 20-100м и расстояние между точками наблюдений 2-10 м;

г) для работ по высокоточной магниторазведке: 10–40 тыс. точек на 1 км^2;
2) проведение наблюдений в максимально сжатые сроки;
3) использование повторных режимных наблюдений;
4) использование, наряду с наземными наблюдениями, наблюдений во внутренних точках среды (скважинные, межскважинные, скважинно-наземные и т.д.);
5) комплексирование геофизических методов.

Рассмотрим особенности применения геофизических методов при решении названных выше геологических задач.

Определение внешних границ оползня и границ между отдельными его блоками

Определение внешних границ оползня в тех случаях, когда они не выделяются по геоморфологическим признакам (например, границы древних оползней), производится с помощью большинства используемых при изучении оползней геофизических методов. Переход от устойчивой части склона к нарушенной обычно сопровождается существенными изменениями сейсмических и электрических характеристик массива и, в частности, уменьшением скоростей продольных и поперечных волн и возрастанием коэффициентов сейсмической и электрической анизотропии, обусловленной ориентированной трещиноватостью и особенностью распределения напряжений внутри оползневого массива. В тех случаях, когда внешние границы оползня и положение отдельных его блоков и ступеней, по данным профильных и площадных геофизических съемок, выделяются не достаточно отчетливо, используется метод повторных (дежурных) съемок, выполняемых в различные по интенсивности периоды развития оползневого процесса. Такой подход, в частности, дает положительные результаты при использовании высокоточной гравиразведки. Необходимые для инженерно-геологических выводов данные обычно получаются уже после 3–5-и циклов таких измерений, выполненных в дни, наиболее различающиеся по атмосферному давлению, т.к. именно в этом случае можно наблюдать значительные изменения силы тяжести от цикла к циклу, отражающие особенности геологических условий изучаемого оползневого участка.

На графиках среднего квадратического отклонения значений силы тяжести (σ), построенных по результатам режимных измерений, хорошо выделяются все основные элементы геологического строения оползня [9]. Наиболее измененные оползневым процессом горные породы обычно приурочены к нижней части оползневого склона. Площадь их развития, как правило, ограничивается нижней оползневой ступенью и характеризуется самым высоким средним уровнем σ. Средний уровень σ над остальными оползневыми ступенями и блоками в общем случае тем ниже, чем выше по склону они расположены, т.е. чем меньше затронуты оползневым процессом слагающие их горные породы. Над породами устойчивой части склона (плато) средний уровень σ самый низкий. При дальнейшем удалении от активного склона он продолжает постепенно уменьшаться, в конце концов достигая уровня погрешности измерений. Именно там, где величина σ начинает укладываться в погрешность измерений, находится верхняя граница пород, затронутых оползневым процессом (т.е. верхняя граница оползневого участка).

Таким образом, границы площадей разного среднего уровня σ соответствуют границам разных элементов геологического строения оползневого участка (оползневые ступени и блоки, стенка срыва, устойчивая часть склона или плато). На некоторых оползневых участках прилегающие оползневые блоки характеризуются не только разным средним уровнем σ, а и разной фазой изменения силы тяжести во времени, что еще более облегчает их картирование.

Определение глубины залегания поверхности смещения

Возможности использования и методика геофизических исследований при определении поверхности смещения оползня во многом определяются ее положением. Наиболее благоприятным случаем для использования методов геофизики является тот, при котором смещение оползневого массива происходит по границе раздела разнородных сред (консеквентные оползни) и, особенно, в тех случаях, когда смещение пород происходит по

скальному основанию. Сложнее решается задача об определении поверхности смещения в случае, когда она имеет криволинейную форму и приурочена к однородным неслоистым породам (асеквентные оползни) или эта поверхность сечет породы разного литологического состава (инсеквентные оползни).

Определение поверхности смещения консеквентных оползней может производиться отдельно и самостоятельно с помощью гравиразведки, электроразведки и сейсморазведки. Конкретное применение каждого из этих методов обусловливается их технологическими возможностями в конкретных условиях производства работ, экономическими соображениями и точностью, предъявляемой к решению этой задачи. Можно отметить, что технологическая сложность производства работ, экономические затраты и точность решения задачи возрастают соответственно при использовании гравиразведки, электроразведки и сейсморазведки. Объем горных выработок, необходимых для привязки геофизических данных, минимален и не превышает 1-3 выработок на оползневой участок.

В случае, когда поверхность смещения приурочена к однородным неслоистым породам, определение глубины ее залегания и геометрии целесообразно производить с помощью электроразведки и сейсморазведки. Предпочтительнее использовать сейсморазведку из-за высшей, по сравнению с электроразведкой, разрешающей способности метода.

Наиболее сложно решается задача, когда поверхность смещения пересекает границы разнотипных по литологическому составу пород. Здесь могут быть использованы сейсморазведка, скважинные геофизические методы и комплекс наземно-скважинной геофизики. При этом наибольшей эффективностью обладают методы акустического каротажа (АК). Как показывает опыт, с помощью АК удается достоверно выделить скоростные границы, соответствующие границам смещения. Определение природы этих границ производится на основании следующего признака: основному деформирующемуся горизонту (ОДГ) соответствует заметное понижение скоростей волн [6].

Расчленение тела оползня (в плане и разрезе) на отдельные комплексы пород

Расчленение оползневого массива на отдельные комплексы пород в плане может производиться с помощью высокоточной магниторазведки, высокоточной гравиразведки и различных методов электропрофилирования. Магниторазведочные наблюдения обычно выполняются по достаточно густой сети наблюдений. Методика производства подобных работ ординарна. Важно только, чтобы они были выполнены в самые сжатые сроки и с минимально возможной погрешностью ($\pm$ 0,5-3 нТ). В тех случаях, когда данных магнитс разведки для суждения о геологической структуре площади исследований недостаточно, применяется высокоточная гравиразведка по отдельным выборочным профилям. Шаг наблюдений определяется сложностью геологической структуры участка и может колебаться от 5 до 20м. Результаты магниторазведочных и гравиразведочных наблюдений представляются соответственно в виде графиков вдоль профилей и карт интенсивности ΔT и Δg.

Расчленение оползневого массива на отдельные комплексы в плане может производиться и методами электропрофилирования (ЭП). Выбор модификации ЭП определяется обычно его технологичностью и дифференциацией пород по измеряемому параметру электромагнитного поля. Размеры установки электропрофилирования выбираются, исходя из мощности пород оползневого массива. Как и в предыдущем случае, результаты наблюдений оформляются в виде графиков и карт электропрофилирования, по которым и выносится суждение о строении оползневого массива в плане. При необходимости к решению задачи привлекаются данные сейсмических наблюдений. Последние могут вестись как по упрощенной методике типа профилирования с фиксированным расстоянием "пункт возбуждения (ПВ) - приемник", так и в особо сложных случаях с помощью различных вариантов продольного профилирования, дополняемого непродольным. Расчленение оползневого массива на отдельные комплексы пород в разрезе производится обычно с помощью электроразведки на постоянном токе (ВЭЗ, ВЭЗ ВП) и сейсморазведки КМПВ. Возможности названных методов при решении указанной задачи определяются дифференциацией пород оползневого массива по электрическим параметрам и скоростям сейсмических волн, мощностью выделяемых комплексов и положением их в изучаемом разрезе. Эти возможности, вытекающие из теоретических основ методов электроразведки и сейсморазведки, четко сформулированы в пособиях и руководствах по этим методам и здесь не рассматриваются.

Определение положения уровня грунтовых вод и верховодки

Для решения данной задачи используется сейсморазведка. Физической основой ее решения является наличие резкой скоростной дифференциации для продольных волн между неводонасыщенными и полностью водонасыщенными породами. В то же время для поперечных волн подобная скоростная дифференциация отсутствует [3]. В соответствии с этим глубину залегания грунтовых вод или верховодки определяют с помощью КМПВ на продольных волнах. В случае возникновения затруднений в определении природы границы, выделенной с помощью продольных волн, дополнительно проводят наблюдения на поперечных волнах. Критерием отнесения выделенной с помощью продольных волн границы к границе полного водонасыщения является ее отсутствие при использовании поперечных волн. Кроме того, признаком границы полного водонасыщения является характерная граничная скорость продольной волны (от 1450 до 2700 м/с). Разница в записи продольной волны, связанной с уровнем грунтовых вод и верховодки, заключается в том, что последнюю характеризуют более низкие граничные скорости (от 1450 до 1700 м/с) и более быстрое затухание [3]. Наблюдения ведутся по методике продольного профилирования с использованием встречных, а иногда нагоняющих систем.

Определение направления и интенсивности движения фильтрационного потока

Оползень часто является крупной дреной, где формируется фильтрационный поток. Для наблюдения за его формированием и продвижением можно использовать электроразведку методом естественного поля (ЕП). С целью повышения достоверности результатов метода ЕП измерения проводят по способу потенциала и в период, когда суточные колебания температуры минимальны. Другими путями повышения достоверности результатов является комплексирование метода ЕП с наземной термометрией и электропрофилированием методом сопротивлений. Достоверность результатов также увеличивается, если измерения ЕП производятся на глубине 0,5–1 м. На особенности распределения и знак естественных электрических потенциалов может оказывать существенное влияние литология пород. В частности, породы с повышенным содержанием глинистого материала обычно характеризуются положительными аномалиями, сходными с аномалиями над водопритоками. Поэтому интерпретацию результатов электроразведки методом ЕП целесообразно производить в комплексе с другими методами геофизики, например, с термометрией, электропрофилированием и др. Интерпретация носит качественный характер и выполняется путем сравнительного анализа различных графиков профилирования и наложением друг на друга геофизических и инженерно-геологических карт. Карты равных значений потенциала ЕП в условиях распространения однородных пород могут дать сведения о форме фильтрационного потока, его направлении и интенсивности. Для количественного определения скорости движения фильтрационного потока грунтовых вод (при глубине до уровня грунтовых вод до 10 м) может использоваться метод заряженного тела (МЗТ), реализуемый по стандартной методике.

Оценка состояния и физико-механических свойств пород

Данная проблема включает в себя ряд частных задач, решение которых, как правило, осуществляется с помощью сейсмоакустических методов. В общем случае исследования выполняются в 3 этапа: 1) устанавливаются расчетные соотношения между сейсмическими и физико-механическими характеристиками; 2) определяются с необходимой детальностью и точностью сейсмические характеристики пород в массиве со строгой их привязкой к определенному объему среды; 3) определяются с помощью ранее установленных соотношений физико-механические свойства пород. Расчетные соотношения могут быть получены теоретически, а также установлены с помощью расчетно-экспериментального или эмпирического подхода [3]. При этом вследствие проявления масштабных эффектов достоверность расчетных соотношений для неоднородных сред достигается только в том случае, если они опираются на равномасштабные определения сейсмических и физико-механических характеристик. Соответственно значения показателей физико-механических свойств, полученные по сейсмическим данным, должны приписываться тому объему сре-

5386

ды Q, к которому относится то или иное сейсмическое измерение. Величина Q зависит от длины волны λ и составляет приблизительно: $Q=0{,}065\ \lambda^3$.

В настоящее время имеется много примеров успешного применения сейсмоакустических методов для изучения таких физико-механических характеристик пород, как динамические и статические модули упругости, плотность, пористость и трещиноватость, деформационные и прочностные свойства, характеристики напряженного состояния. Более подробные сведения об использовании сейсмоакустических методов с целью определения состояния и физико-механических свойств пород приведены в литературе [3,7,11,12, 13 и др.].

Определение глубины залегания, состава и строения пород коренного ложа

Для определения глубины залегания коренных пород используется электроразведка (ВЭЗ) и сейсморазведка (КМПВ) в стандартном варианте.

Изучение состава и строения коренных пород на первом этапе выполняется с помощью магниторазведки. Площади пород различного состава картируются по магнитному полю разной интенсивности и характера. Зонам тектонических нарушений или карста обычно соответствуют локально вытянутые магнитные аномалии; они могут быть относительно положительными, отрицательными или знакопеременными, т.е. отличающимися от окружающих пород величиной и характером магнитного поля. Наиболее сложно по магнитным данным определить местоположение зон карста, т.к. последние характеризуются либо очень небольшим (примерно, до 10 нТ) снижением интенсивности магнитного поля, либо слабым ее увеличением (обычно до 20-30 нТ). Интенсивность магнитных аномалий над зонами карста в значительной мере определяется степенью его кольматации (т.е. степенью заполнения карстовых пустот глинистым материалом) и магнитными свойствами кольматирующего материала. Магниторазведка может быть дополнена разовыми гравиметрическими наблюдениями по отдельным выборочным профилям. Делается это в тех случаях, когда магнитных данных для суждения о геологической структуре площади исследований недостаточно. Шаг наблюдений на профилях определяется сложностью геологической структуры участка и составляет 5 м - 20м. С помощью гравиметрических наблюдений удается получить информацию, например, о том, что для условий залегания коренных пород характерна блоковая структура, определить местоположение отдельных блоков, выделить сравнительно крупные зоны разломов и т.д.

Еще более полная информация может быть получена при дополнительном включении в комплекс методов электропрофилирования. Разносы питающей линии АВ выбираются при этом по отдельным вертикальным электрическим зондированиям с таким расчетом, чтобы охватить изучением коренные породы. Наиболее полная и достоверная информация о положении и характере зон тектонических нарушений или закарстованности, мощности и строении зоны выветривания коренных пород с количественной оценкой их трещиноватости и ряда других характеристик в плане и по глубине - может быть получена с помощью сейсморазведки [3, 11, 13].

Активность зон тектонических нарушений устанавливается с помощью режимных гравиметрических наблюдений. "Живые" зоны тектонических нарушений, по которым происходят микроперемещения отдельных блоков коренных пород при периодической разгрузке аномальных напряжений массива, выделяются по величине σ как локальные аномалии на фоне ее среднего уровня. "Живые" тектонические зоны обычно хорошо видны и на графиках $\Delta g_Б$, где они вызывают резкие локальные повышения или понижения величины силы тяжести в зависимости от того, в какой период их "жизни" выполнен тот или иной цикл гравиметрических наблюдений. Можно полагать, что "живые" тектонические зоны оказывают существенное воздействие на режим оползней, в частности, они могут быть унаследованы и зонами трещин закола.

Изучение условий развития селей

Применение геофизических методов на участках развития селей, как правило, ограничивается изучением зоны их формирования. Конкретные задачи, которые ставятся перед

геофизическими методами при изучении того или иного очага, зависят, в первую очередь, от его типа [14]. Наиболее общие задачи могут быть сформулированы следующим образом: 1) изучение общего геологического строения селевого бассейна, определяющего потенциальную активность селей в данном водотоке; 2) определение мощности (объема) материала, который может быть вовлечен в селевой поток; 3) оценка гранулометрического состава твердой составляющей; 4) изучение влажности, прочностных и деформационных свойств горных пород как факторов, определяющих активизацию селевых процессов [14]. Кроме того, для наиболее распространенных очагов, связанных со скоплением рыхлообломочного материала в руслах временных и малых водотоков, первостепенное значение приобретает изучение "элементарных" процессов (оползневых, обвальных, эрозионных и т.д.) как факторов, определяющих поступление дополнительного материала в русло водотоков; сходные задачи возникают при изучении очагов, связанных с подпруживанием рек. Для очагов, связанных с деятельностью ледников, наиболее важное значение имеет изучение строения и состава морен, формирующих твердую составляющую, а также их гидрогеологических и геокриологических условий. Геофизические методы могут использоваться для решения большинства перечисленных задач.

С помощью магниторазведки в маршрутном варианте производится оценка литолого-петрографического состава скального основания, что способствует изучению геологического строения селевого бассейна. Магниторазведка используется также при изучении литологии моренных образований в очагах, связанных с деятельностью ледников.

Гравиразведка привлекается для изучения геологического строения селевых бассейнов по отдельным маршрутам. Изучение силы тяжести на площади ледниковых морен значительно упрощает решение таких геологических задач, как определение глубиных и особенностей рельефа кровли их коренного ложа, изучение литологической дифференциации моренных образований, картирование среди образований морен погребенных льдов и термокарстовых пустот.

Для оценки общей мощности и расчленения по литологии разреза рыхлых образований в очагах зарождения селей осуществляется электроразведка методом вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ). Более широкие задачи ставятся перед электроразведкой на площади ледниковых морен. Они, кроме изучения разреза моренных образований и определения глубины до коренного ложа, включают в себя поиски и прослеживание подземных водотоков, определение планового положения зон фильтрации талых вод, оценку направления движения подземных вод и некоторые другие вопросы. При работах на площади морен, наряду с методом ВЭЗ, широко используются методы электропрофилирования (ЭП) и естественного электрического поля (ЕП). Собственно, метод ЭП в данном случае является ведущим электроразведочным методом; в отличие от него, метод ВЭЗ осуществляют не по сети, а лишь в отдельных пунктах или по выборочным профилям, чтобы иметь необходимые количественные данные об особенностях разреза морены и правильно выбрать разносы питающей линии АВ в методе ЭП. Успешному применению методов ВЭЗ и ЭП при изучении морен способствует хорошая дифференциация слагающих их образований по удельному электрическому сопротивлению. Хорошим дополнением методов ВЭЗ и ЭП на площади морен в благоприятных условиях может быть метод ЕП. Получаемые с его помощью данные в ряде случаев способствуют определению планового положения зон фильтрации талых вод, направления движения подземных вод, уровня фильтрации талых вод в вертикальном разрезе. В благоприятных случаях с помощью данных метода ЕП удается успешно решить все эти задачи и даже построить схемы гидроизогипс уровня грунтовых вод. Но часто, из-за сложных условий заземления и резкой смены температур грунта на пунктах разной экспозиции микрорельефных форм, характер поля ЕП весьма нестабилен и метод не дает желаемых результатов. Иногда при картировании площадей развития погребенных льдов и зон фильтрации талых вод на моренах используется метод профильных термометрических измерений с погружением датчика на глубину порядка 50 см. Летом площади этих элементов строения морены (после введения поправок за суточные вариации температуры) обычно характеризуются аномальным понижением температуры грунта.

Сейсморазведка может использоваться для решения широкого круга задач, возникающих при изучении условий развития селей. Она дает наиболее точную и достоверную информацию о глубине залегания ненарушенных скальных пород, создавая тем самым опорный "каркас" для количественной интерпретации результатов, полученных с помощью дру-

5386

гих методов. Эта задача обычно решается КМПВ на продольных волнах [2]. В результате может быть произведена оценка мощности (объема) материала, который может быть вовлечен в селевой поток. Сейсморазведка используется также для оценки состояния и физико-механических свойств горных пород как скальных, так и рыхлых. Методика решения этой задачи не отличается от той, которая применяется при изучении оползневых участков.

Наконец, с помощью сейсмоакустических методов производится оценка объемов дополнительного материала, который может поступить в селевой очаг в результате обвальных, эрозионных и других процессов. С этой целью определяется мощность выветрелых или ослабленных пород на прилегающих склонах, мощность оползневых накоплений и т.д.

Результаты комплексных геофизических работ, обработанные совместно с данными инженерно-геологических методов, способствуют получению наиболее полной информации о геологических условиях районов зарождения селей и помогают осуществлять прогноз этих процессов.

3. Изучение режима оползней и селей

При изучении режима оползней и селей методы геофизики выполняются только в варианте режимных наблюдений. Выбор сети их расположения осуществляется на основании данных о геологических условиях площади и ее рельефе с учетом представлений об особенностях развития на ней изучаемых экзогенных процессов, а также факторов, которые могут внести в режимные наблюдения ошибки (высоковольтные линии, искусственные источники колебаний почвы и др.). Пункты режимных наблюдений геодезически привязываются и при выполнении очередных циклов измерений либо приводятся к своему первоначальному плановому положению, либо фиксируются на плане в своем новом положении. Для некоторых видов осуществляется нивелировка и постоянный контроль за высотным положением пунктов (гравиразведка, сейсмические методы).

Главная задача режимных геофизических наблюдений состоит в том, чтобы через временные изменения изучаемых методами геофизики характеристик естественных и искусственных физических полей найти объективные закономерности изменения состояния, свойств и местоположения пород во времени, отражающие характер развития оползневых и селевых процессов, и использовать эти данные при прогнозе последних. Ниже рассматриваются особенности применения различных геофизических методов при изучении режима оползней и селей.

Использование гравиразведки для изучения режима оползней основано на том, что особенности изменений силы тяжести во времени (их величина, фаза, периодичность и т.д.) отображают временные изменения состояния и свойств пород и ритм оползневых процессов. Действительно, если, например, представить себе, что породы на профиле, где в данный момент измеряется сила тяжести, испытывают деформацию растяжения, плотность пород должна будет при этом уменьшаться, а дневная поверхность испытывать микродвижение вниз. Оба фактора, при условии, что они действуют в момент наблюдения на гравиметре, вызовут уменьшение силы тяжести. При действии деформации сжатия все будет наоборот, сила тяжести начнет возрастать. Таким образом, наблюдая за изменениями силы тяжести во времени, можно получать информацию о том, какого характера деформации (растяжения или сжатия) превалируют на том или ином интервале оползающих пород в данное время. Замечено, что периоды максимальных скоростей смещения оползающих образований приурочены к периодам относительного уменьшения силы тяжести; периоды максимумов силы тяжести обычно опережают их на несколько суток, что можно использовать при прогнозе оползневых процессов (рис. 10.1).

Результаты экспериментальных исследований последних лет позволяют предполагать, что ритм оползневых процессов – это неплавное чередование периодов их активизации и затухания, измеряемых месяцами и годами. Он складывается из большого числа составляющих с более короткими периодами, каждая из которых отражает особенности изменения состояния и свойств пород на оползневых участках в соответствующие временные интервалы. Например, установлены изменения силы тяжести при наблюдениях в одном пункте оползня через каждые пять минут; они хорошо увязываются с вертикальными микродвижениями пункта, где измеряется сила тяжести [8]. Установлены изменения силы тя-

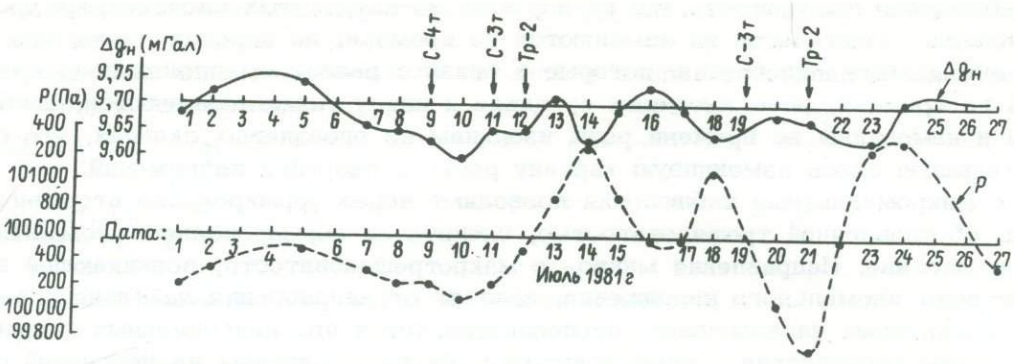


Рис. 10.1. Изменение во времени силы тяжести (Δg_H) и атмосферного давления (P) в одном из пунктов оползня. Стрелки показывают время максимальной скорости смещения оползающих образований по данным трещиномера (T_p-2) и глубинных реперов (С-4 т и С-3 т)

жести при ежедневных измерениях на одном пункте, которые качественно увязываются с изменениями атмосферного давления (рис. 10.1). Установлены также изменения силы тяжести при ежемесячных и ежегодных измерениях, очевидно, отражающие существенные изменения состояния и свойств массива пород, обусловленные сменой времен года и другими сравнительно более длительно действующими факторами (например, положением Земли по отношению к Луне и Солнцу и др.). По всей видимости, если правильно выбирать время между циклами режимных наблюдений за силой тяжести, то можно, как бы отфильтровывая разнопериодные составляющие ее изменений во времени, изучать ритм оползневых процессов и влияние на него различных факторов.

Режимные магнитные наблюдения на профилях позволяют получать информацию об изменении во времени магнитных свойств пород в связи с выносом или привносом магнитных минералов при разрушении пород оползневыми процессами. По этим данным возможно также следить за направлением и скоростью смещения оползающих образований, так как одновременно смещаются и магнитные аномалии, обусловленные, например, границами оползневых блоков (рис. 10.2). Весьма ценную информацию получают при режимных микромагнитных измерениях на площади так называемой полосы, пересекающей оползневой участок по его длине, или на площади микроплощадок, расположенных в разных частях участка (сеть измерений 2 × 1 м). Розы изодинам элементарного магнитного поля, которые строятся для каждого цикла микромагнитных наблюдений и отражают превалирующее простирание микро- и макротрещиноватости пород, очень чутко реагируют на изменение напряженного состояния последних.

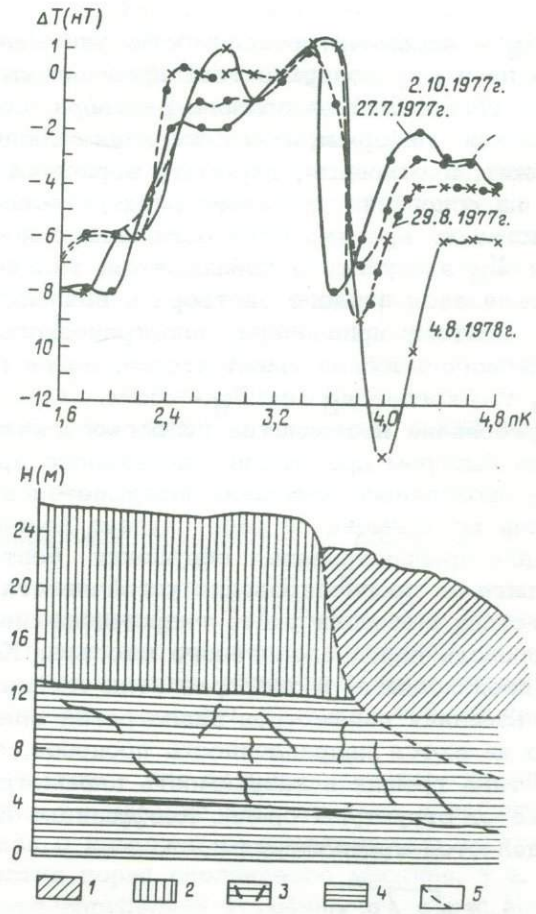


Рис. 10.2. Смещение магнитных аномалий в связи со смещением оползневого блока: 1 – оползневые образования (суглинки, глины); 2 – эолово-делювиальные суглинки; глины: 3 – элювиальные, 4 – коренные, 5 – поверхность смещения оползневого блока. Вверху графики режимных измерений магнитного поля

Подобные наблюдения показывают, что на породах, не затронутых оползневыми процессами, розы изодинам практически не изменяются во времени; на породах плато, где уже существуют аномальные напряжения, которые в связи с развитием оползневого процесса непостоянны во времени, розы изодинам от цикла к циклу также изменяются; наиболее своеобразны и изменчивы во времени розы изодинам на оползневых склонах, что отражает существующую здесь изменчивую картину роста и разрядки напряжений.

Режимные микромагнитные наблюдения позволяют через формирование вторичной текстуры пород, обусловленной трещиноватостью, следить за формированием аномальных напряжений в массиве. Направления микро- и макротрещиноватости, возникающей в породах под действием аномального напряжения, зависят от направления действия и величины последнего. Характерны параллельное, перпендикулярное и два диагональных направления [10]. Все четыре направления трещиноватости обычно проявлены на последней стадии нарушенности пород; в начальной стадии действия аномального напряжения, как правило, возникает одно (параллельное или перпендикулярное) направление. С глубиной контрастность возникающих направлений трещиноватости возрастает, что можно наблюдать, используя данные разновысотных микромагнитных режимных измерений. Таким образом, режимные микромагнитные наблюдения позволяют, путем изучения формирования вторичной текстуры пород, выраженной трещиноватостью, выявлять объективные закономерности формирования аномального напряжения в массиве и оценивать главное направление его действия. Сами по себе данные о простирании трещиноватости пород (особенно, на микроуровне) и его изменении по площади и во времени представляют интерес при изучении и прогнозе инженерно-геологических свойств пород в связи с их подверженностью оползанию.

Изучение режима оползней и селей с помощью электроразведки основано на зависимости параметров электрического поля от свойств и состояния породы. Как уже упоминалось ранее, электрическое сопротивление ρ зависит от многих факторов. В общем виде эта зависимость обычно записывается следующим образом:

$$\rho = \Pi_M \cdot \Pi_П \cdot P_П \cdot \rho_B \cdot P_H; \qquad (10.1)$$

где Π_M – параметр проводимости, учитывающий электропроводность скелетной фракции; $\Pi_П$ – параметр поверхностной проводимости; $P_П$ – параметр пористости; ρ_B – электрическое сопротивление водного раствора, содержащегося в горной породе; P_H – параметр насыщения. Информацию о состоянии породы (в данном случае оползневого массива) содержит, в основном, параметр пористости $P_П$. Установить изменения в состоянии породы на основании удельного электрического сопротивления ρ возможно при условии постоянства во времени всех остальных параметров ($\Pi_M, \Pi_П, \rho_B, P_H$). Если для параметров Π_M и $\Pi_П$ это условие соблюдается, так как они во времени практически неизменны, то минерализация водного раствора и влажность породы могут варьировать в широких пределах. Поэтому привлечение электрического сопротивления для контроля за состоянием оползневого массива имеет смысл, когда гидрогеологические условия постоянны во времени, т.е. когда ρ_B и $P_H = \text{const}$.

Требование постоянства гидрогеологических условий может соблюдаться при сравнительно быстром протекании оползневого процесса, например, на бортах карьеров, где развитие оползневого процесса завершается за 10–20 дней. Постоянство гидрогеологических условий во времени в ряде случаев позволило использовать электроразведку методом ВЭЗ для прогнозирования обрушения бортов карьеров. Перенесение этого положительного опыта на прогнозирование устойчивости естественных склонов вряд ли возможно из-за отсутствия методики учета гидрогеологического и деформационного факторов на электропроводность пород оползневого массива. Контроль за изменением структуры горных пород, происходящим в ходе развития оползневого процесса, может производиться на основе использования параметров анизотропии электрического сопротивления. Предпосылками для этого являются направленность процесса, способствующая развитию линейных форм структуры типа трещин и зависимость параметров анизотропии электрического сопротивления только от структуры среды. Коэффициент анизотропии электрического сопротивления $\varkappa_\rho$ определяется соотношением

$$\varkappa_\rho = \sqrt{\rho_y / \rho_x}, \qquad (10.2)$$

где ρ_y и ρ_x электрическое сопротивление в направлении большой и малой осей эллипса анизотропии.

Электрическое сопротивление вдоль большой и малой осей эллипса анизотропии можно представить в таком виде

$$\rho_y = П_М \cdot П_П \cdot P_{П_y} \cdot P_Н \cdot \rho_В$$
$$\rho_x = П_М \cdot П_П \cdot P_{П_x} \cdot P_Н \cdot \rho_В . \qquad (10.3)$$

Тогда на основании (10.2) и (10.3) можно записать

$$\varkappa_\rho = \sqrt{P_{П_y} / P_{П_x}} . \qquad (10.4)$$

Из выражения (10.4) следует, что величина $\varkappa_\rho$ не зависит от гидрогеологического фактора и определяется только структурой среды. Аналогичный вывод можно сделать и в отношении коэффициента анизотропии вызванной поляризации $\varkappa_\eta$. Независимость коэффициентов анизотропии $\varkappa_\rho$ и $\varkappa_\eta$ от гидрогеологических условий позволяет использовать их для контроля за состоянием оползневого массива на стадии подготовки его к смещению.

Измерение параметров анизотропии электрического сопротивления и вызванной поляризации возможно несколькими способами. Наиболее совершенным из них является способ двухазимутальных или круговых измерений с помощью четырехэлектродной установки AMNB метода двух составляющих (МДС). Для повышения точности определения параметров анизотропии целесообразно выполнять круговые измерения установкой МДС с закрепленными на местности измерительными и питающими электродами. Профилирование установкой МДС может быть одно- и двухгоризонтным. Разносы установки профилирования выбираются, исходя из мощности пород оползневого массива, такими, чтобы они характеризовали оползневые или потенциально оползневые породы. Цикличность наблюдений определяется длительностью оползневого процесса. Результаты измерений представляются временными рядами параметра $\varkappa_\rho$ или $\varkappa_\eta$. Они могут быть нормированы относительно своих фоновых значений. Возможно также представление результатов измерений в виде среднеквадратичных отклонений относительно своих фоновых или средних значений.

Методика режимных наблюдений за изменением параметров анизотропии электрического сопротивления во времени была опробована на одном из оползневых участков. Они охватывали трехнедельный цикл и были приурочены к периоду искусственной подрезки склона. Сеть режимных наблюдений была заложена до начала эксперимента с подрезкой склона. В комплекс методов режимных наблюдений входили: электроразведка методом ЭП МДС, поверхностные геодезические реперы, месдозы и датчики порового давления. Электроразведочные измерения выполнялись в шести пунктах центрального створа с цикличностью один раз в сутки. На каждом из шести пунктов режимных наблюдений проводилось шестилучевое профилирование установкой МДС. Действующий разнос установки $r = AB/2 = 6$ м. Размеры осевой $(MN)_r$ и ортогональной к ней $(MN)_\varphi$ приемных линий были равны.

Режимные измерения ЭП МДС оформлялись в виде зависимостей $\rho_{k_a} / \rho_{k_n} = f(t)$ и $\gamma_a / \gamma_n = f(t)$. Здесь ρ_{k_n} и γ_n – значения измеряемых параметров до подрезки; ρ_{k_a} и γ_a – их текущие значения; t – время в днях (июнь – июль 1976 г.), ρ_k – электрическое удельное сопротивление; γ – степень анизотропии $(\gamma = \varkappa_\rho^2 - 1)$. Результаты режимных наблюдений ЭП МДС показаны на рис. 10.3. На основании режимных измерений параметров анизотропии электрического сопротивления можно выявить различные фазы оползневого процесса и их продолжительность, а также оценить скорость развития той или иной фазы оползневого процесса.

Физической основой применения сейсмических методов для изучения режима оползней являются установленные закономерности изменения параметров поля упругих колебаний при развитии оползневого процесса, связанные как с изменением напряженного состояния, так и с изменением прочностных характеристик пород оползневого массива, т.е. с параметрами, отношение которых в конечном счете определяет устойчивость пород. На-

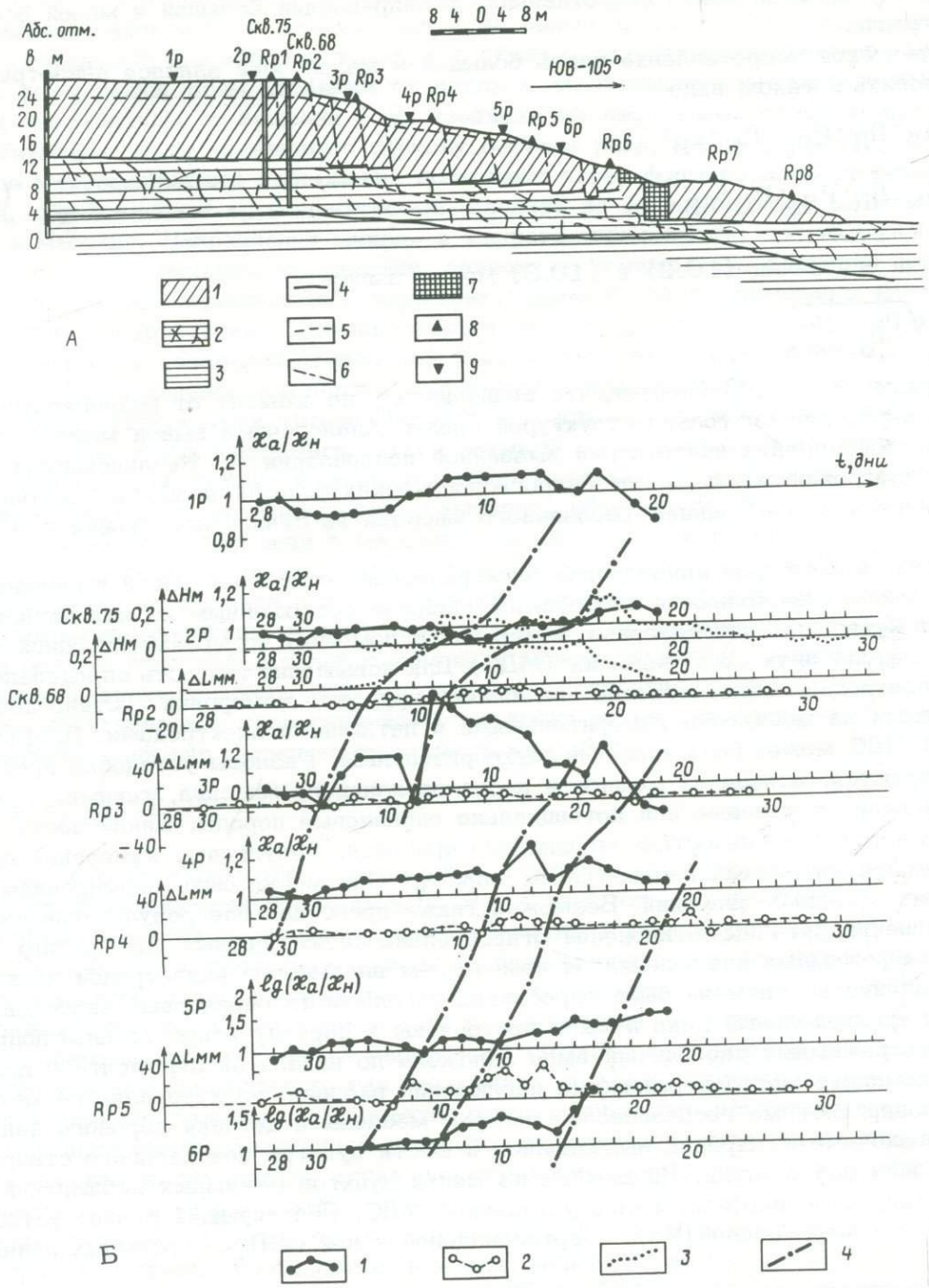


Рис. 10.3. Сопоставление результатов режимных измерений параметров анизотропии электрического сопротивления с геодезическими измерениями за скоростью горизонтальных смещений (ΔL) поверхностных реперов и наблюдениями за поропьезометрами (ΔH). А – схема расположения пунктов измерений вдоль профиля режимных измерений: 1 – суглинки, 2 – нарушенные глины, 3 – монолитные глины, 4 – литологические границы, 5 – поверхности смещения, 6 – оползневые трещины, 7 – участок подрезки, 8 – геодезические репера (Rp), 9 – пункты электроразведочных наблюдений (P). Б – графики режимных измерений: 1 – графики параметра γ_a / γ_n; 2 – графики скорости горизонтальных смещений (ΔL) геодезических реперов; 3 – графики локальной составляющей показаний поропьезометров (ΔH) в скважинах 68 и 75; 4 – оси синфазности минимумов параметра γ_a / γ_n

иболее общие закономерности изменения сейсмических характеристик при развитии оползневого процесса, полученные как при физическом моделировании, так и в натурных условиях, заключаются в следующем [3,4]:

1) началу оползневых смещений всегда предшествует изменение сейсмических характеристик пород массива;

2) изменение сейсмических характеристик наблюдается как в пределах оползневого тела, так и на оползнеопасных, но временно устойчивых частях склона (плато);

3) момент начала смещений отмечается стабилизацией сейсмических характеристик внутри смещающегося блока, если он движется как единое целое; при развитии деформаций внутри смещающегося блока сейсмические характеристики в пределах этого блока изменяются;

4) во временно устойчивой части склона (плато) момент начала смещений отмечается выходом сейсмических характеристик на некоторые экстремальные значения;

5) все изменения сейсмических характеристик проявляются наиболее сильно в направлении смещения (по оси оползня).

Режимные сейсмические наблюдения, направленные на изучение динамики оползневых процессов, ведутся по 1-2 осевым профилям, обязательно захватывающим устойчивую часть склона (плато). При необходимости дополнительно выполняются наблюдения по 1-2 поперечным профилям, располагаемым в пределах наиболее активных зон. Кроме того, сейсмические измерения производятся в отдельных, наиболее интересных частях оползневого массива по методике кругового сейсмического зондирования (КСЗ) [11].

Наземные сейсмические наблюдения обычно сопровождаются измерениями во внутренних частях массива по методике межскважинного сейсмического просвечивания (МСП) и вертикального сейсмического профилирования (ВСП). Скважины, предназначенные для МСП, располагают по линии осевого профиля в пределах той части склона, которая еще не вовлечена в оползневые смещения. В результате геометрия расположения точек наблюдения остается постоянной вплоть до начала смещения выбранного участка. Таким образом, наблюдаемые изменения сейсмических характеристик будут связаны только с изменением устойчивости пород в изучаемой части склона (плато). Количество скважин для МСП обычно составляет от 3 до 6. Расстояние между скважинами от 5 до 15 м. Сейсмоприемники устанавливаются на разных глубинах в 3-4 точках. На этих же глубинах производится возбуждение колебаний.

Для изучения характера развития оползневого процесса в плане и по разрезу используются также наблюдения по методике ВСП, которые обычно выполняются в модификации кругового (КВСП). КВСП проводится во всех скважинах, используемых для наблюдений по МСП. Помимо этого, КВСП целесообразно производить в пределах нарушенной части массива, в наиболее активных зонах. ПВ располагаются по разным азимутам от устья скважины, в том числе обязательно - по оси оползня. Расстояние между ПВ составляет 5-10 м, длина наземного профиля 30-50 м.

В качестве примера эффективности применения сейсмических методов при изучении режима оползней приведем данные, полученные на оползневом участке "Жуковка" (Крым, СССР) в пределах участка плато, вначале не затронутого оползневыми смещениями (рис. 10.4). Пикеты 21,23 и 26 расположены вблизи устья скважин 65, 67 и 69. Режимные наблюдения включали как наземные (рис. 10.4), так и скважинные (рис. 10.5) измерения и охватили полный оползневой цикл - участок оказался вовлеченным в смещения между наблюдениями 1980 и 1981 гг.

Из рисунка 10.4 видно, что при подготовке смещений на временно устойчивой части плато происходило существенное увеличение времени распространения продольной волны t^P, что соответствует уменьшению устойчивости пород плато. Эта тенденция стала наблюдаться за 2,5-3 года до вовлечения пород плато в оползневые смещения.

На рис. 10.5 изображены векторные диаграммы скоростей, полученные при режимных наблюдениях по методике МСП. Измерения проводились в скважинах, расположенных на плато, где за все время наблюдений геометрия наблюдательной сети не менялась. Поэтому изменения скорости V_p по разным направлениям связаны исключительно с изменением устойчивости пород. Как видно из рисунка, наиболее интенсивное уменьшение скорости происходит в направлениях I, II, V. Уменьшение скорости в направлении V связано с уменьшением устойчивости пород вдоль потенциальной поверхности смещения, приуроченной к границе суглинок-глина. Это вызывает проседания прилегающего к оползневому телу участка плато. При этом он работает как консольная балка, в результате чего вблизи дневной поверхности (по направлениям I и II) происходит уменьшение

5386

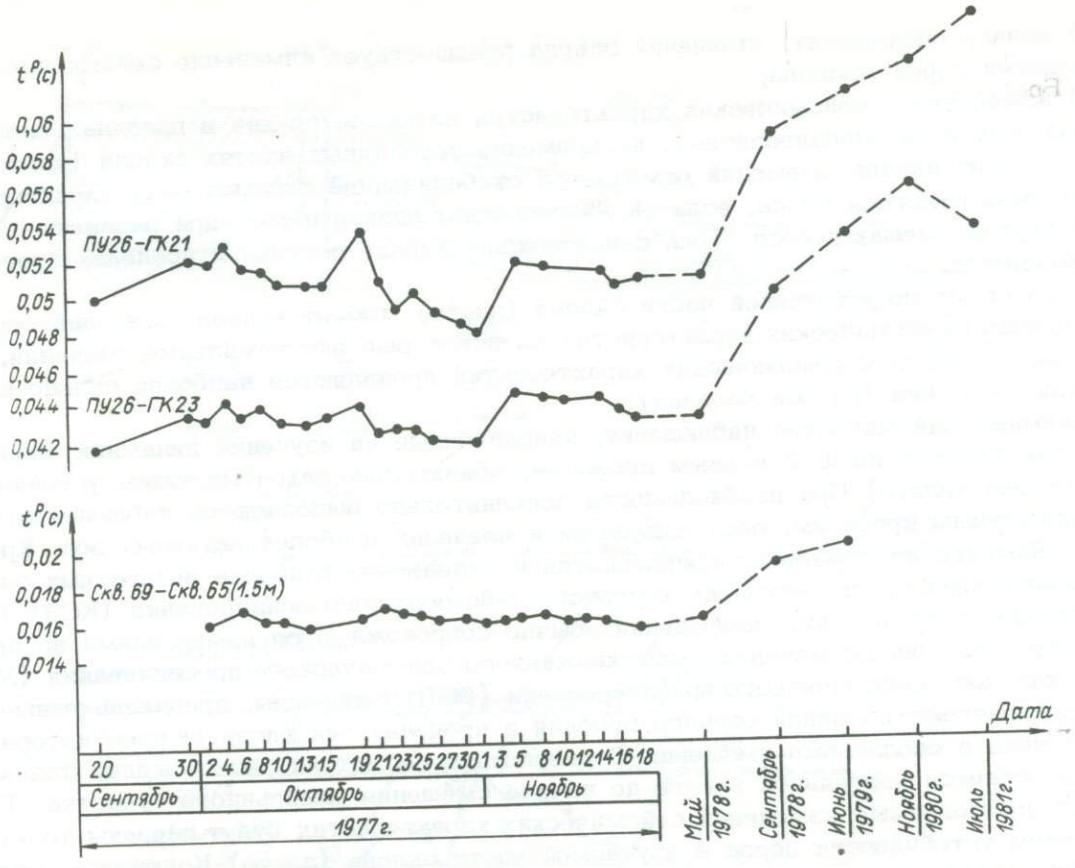


Рис. 10.4. Результаты стационарных сейсмических наблюдений на участке "Жукова" (t^P - время распространения продольной волны)

устойчивости за счет появления растягивающих напряжений. Максимальные изменения устойчивости наблюдаются в месте изгиба "консоли" - между скважинами 69 и 67.

В заключение отметим, что эффективные результаты при изучении режима оползней могут быть получены с помощью не только искусственных, но и естественных полей упругих колебаний. В этом случае активизация процесса сопровождается увеличением частоты появления и интенсивности упругих импульсов [15].

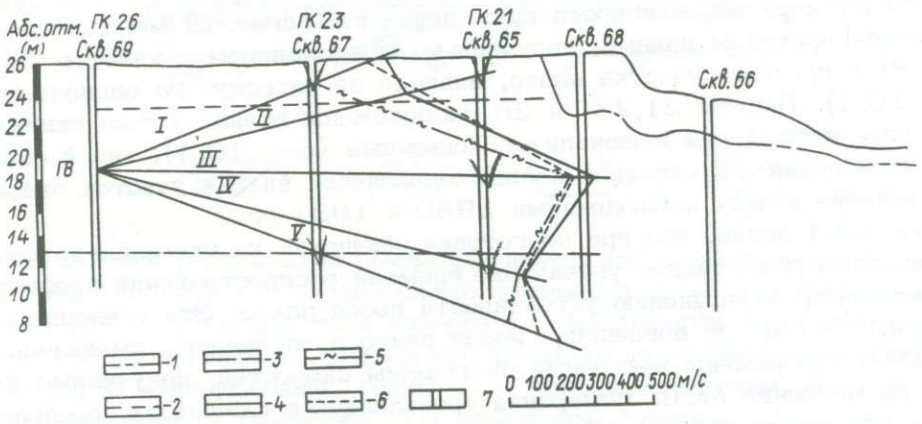


Рис. 10.5. Изменение скорости продольных волн V_p на плато по отдельным направлениям (МСП) за 1976-1979 гг. на участке "Жуковка". 1 - положение склона в 1979 г. (первоначальное положение склона, показанное на рисунке, соответствует 1976 г.); 2 - уровень грунтовых вод в 1976 г.; 3 - граница "суглинки - глины"; 4 - векторная диаграмма скоростей на 28.6.1976 г.; 5 - то же на 6.06.1979 г.; 6 - то же на 25.10.1977 г.; 7 - точки наблюдений в скважинах (горизонтальный масштаб равен вертикальному)

Литература

1. Бродовой В.В., Матвеев В.С., Шипунов С.В., Свирина И.Н. Высокоточная магниторазведка при изучении оползней. "Разведка и охрана недр". М.: 1980, № 3, с. 38–44.

2. Горяинов Н.Н., Варламов Н.М., Скворцов А.Г. Опыт применения геофизических методов при изучении оползня – очага зарождения селей. Труды ВСЕГИНГЕО, 1979, вып. 125, с. 32–37.

3. Горяинов Н.Н., Ляховицкий Ф.М. Сейсмические методы в инженерной геологии. М.: Недра, 1979, 143 с.

3. Горяинов Н.Н., Скворцов А.Г. Опыт применения сейсмических методов при прогнозировании оползневых смещений. М.: ОНТИ ВИЭМС, 1978, серия: гидрогеология и инженерная геология, № 10, с. 1–7

5. Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения горных пород М.: Недра, 1975, 344 с.

6. Изучение режима оползневых процессов. М.: Недра, 1982, 255 с.

7. Матвеев В.С. Вертикальные микродвижения пород – одна из причин изменений силы тяжести во времени на участках оползней. М.: ОНТИ ВИЭМС, 1982, серия: гидрогеология и инженерная геология, № 1, с. 1–6.

8. Матвеев В.С. Изменение силы тяжести на оползневых участках. "Разведка и охрана недр", 1980, № 7, с. 43–46

9. Матвеев В.С., Бродовой В.В., Шипунов С.В. Микромагнитная съемка при изучении и прогнозе оползневых процессов. Труды ВСЕГИНГЕО, 1979, вып. 125, с. 21–31.

10. Миндель И.Г. Методика сейсмоакустических исследований физико-механических свойств связных и малосвязных грунтов. Труды ПНИИИС. М.: 1975, вып. 35, с. 3–25.

11. Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмики. М.: МГУ, 1981, 176 с.

12. Савич А.И., Ященко З.Г. Исследование упругих и деформационных свойств горных пород сейсмоакустическими методами. М.: Недра, 1979, 214 с.

13. Савич А.И., Коптев В.И., Никитин В.Н., Ященко З.Г. Сейсмоакустические методы изучения массивов скальных пород. М.: Недра, 1969, 238 с.

14. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. М.: Недра, 1980, 296 с.

15. Novosad S., Blaha P., Knejzlik J. Geoakusticmethods in the slope stability investigation, Bulletin IAEG, 1977, №16, S. 229

Глава 11

ПРИМЕНЕНИЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ И ИЗОТОПНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ

1. Общие положения

Применительно к задачам изучения гидрогеологических и инженерно-геологических условий на оползневых массивах, а также изучения самих оползневых и селевых процессов могут быть применены следующие ядерно-физические и изотопные методы, основанные на использовании: 1) естественной гамма-радиоактивности горных пород; 2) эффектов поглощения и рассеяния ионизирующего излучения управляемых и неуправляемых источников; 3) искусственных изотопных и неизотопных индикаторов; 4) пространственно-временных изменений содержания естественных изотопов в природных водах; 5) эффектов поглощения космического излучения. Указанные методы и обеспечивающие их реализацию приборы позволяют решать достаточно широкий круг задач, возникающих на разных стадиях изучения оползневых массивов и селей, оползне- и селеопасных территорий. Основные преимущества этих методов перед традиционными состоят в том, что измерения проводятся in situ, зачастую без отбора образцов и без нарушения изучаемого процесса и объекта, эти методы обеспечивают получение информации, которую невозможно оценить другими методами.

5386

Использование естественной радиоактивности пород основано на том, что все породы земной коры в той или иной мере содержат радиоактивные изотопы калия, урана и тория. Содержание радиоактивных элементов для различных по происхождению, литологическому, минералогическому и гранулометрическому составу пород различно, что и служит физической основой использования данных об их естественной радиоактивности для литологического расчленения пород и стратиграфической корреляции разрезов, оценки глинистости, проницаемости и пористости. На практике метод реализуется в виде гамма-каротажа, т.е. измерения распределения естественной гамма-активности по стволу скважин. К методам, использующим естественную гамма-активность, следует отнести и наблюдения за содержанием радона в поровом воздухе. В ряде случаев увеличение во времени концентрации радона в газовых выделениях из пород связано с напряженным состоянием массива горных пород.

Эффекты рассеяния и поглощения радиоактивного излучения искусственных источников, размещаемых в исследуемую среду или в непосредственной близости от нее, зависят от физико-химических свойств горных пород. Для реализации методов, основанных на использовании этих эффектов, преимущественно используются различные модификации аппаратуры радиоактивного каротажа, содержащей источники и детекторы нейтронного и гамма-излучения. Применительно к рассматриваемой области эти методы получили наибольшее распространение для измерения влажности и плотности склоновых отложений и последующих расчетов других физических свойств.

Метод индикаторов основан на запуске в исследуемую среду или поток вещества-трассера и наблюдении за его пространственно-временным распределением. Наибольшее применение нашли в настоящее время красящие и флюоресцентные индикаторы, а также радиоактивные индикаторы. Последние обладают рядом принципиальных преимуществ. Чувствительность их определения на несколько порядков превосходит чувствительность определения всех остальных индикаторов, их введение не нарушает изучаемых объектов и процессов, измерения возможны in situ, а также в потоках сильно минерализованных, мутных, термальных вод, где отказывают другие индикаторы, и при больших разбавлениях. Основными задачами, решаемыми индикаторными методами, являются следующие: определение характеристик потоков поверхностных и подземных вод (расход, скорость, направление, пути движения); определение гидравлических взаимосвязей водоносных горизонтов, подземных и поверхностных вод; определение фильтрационных свойств пород; определение параметров процессов массопереноса - диффузии и гидродинамической дисперсии.

Естественные изотопы распространены повсеместно в природе и изучение пространственно-временных их вариаций является основой изучения гидрогеологических условий. Среди стабильных важнейшими являются изотопы водорода - дейтерий и кислород-18, которые входят непосредственно в состав воды. Дейтерий и кислород-18 участвуют в глобальных, региональных и частных циклах круговорота воды в природе, которые (циклы) сопровождаются количественно измеримым эффектом фракционирования (разделения) этих изотопов при фазовых переходах типа: жидкость ⟷ пар ⟷ лед. Процессы фракционирования определенным образом отражаются на содержании указанных изотопов в природных водах, в зависимости от ее происхождения и истории. В целом для атмосферных осадков наблюдается достаточно четкая корреляционная зависимость с одной стороны между содержанием дейтерия и кислорода-18 в виде так называемой прямой Крейга и со среднегодовыми температурами для данной местности.

Среди радиоактивных естественных изотопов наибольшее внимание привлекают космогенные и техногенные - тритий и радиоуглерод. Они образуются в естественных условиях в атмосфере под действием космического излучения или искусственных - при ядерных атмосферных взрывах. Их содержание в атмосферных осадках известно, и это является основой идентификации подземных вод и гидрогеологических систем, т.к. тритий и радиоуглерод в подземных горизонтах только распадаются. Третья группа изотопов, широко используемая в практике гидрогеологических исследований, это радиоактивные изотопы семейств урана и тория-уран -234 и 238, радий-226, радон-222 и ряд других. Из всех перечисленных изотопов дейтерий и тритий, а также отчасти кислород-18 являются консервативными, т.е. не взаимодействующими с породой изотопами, тогда как радиогенный изотоп углерод-14 формирует свой состав в процессе взаимодейст-

вия воды с породой. При соблюдении определенных условий использование углерода-14, урана-234/238, радия-226, радона-222 позволяет получить ценную информацию о генезисе и динамике подземных вод. Использование космического излучения основано на эффектах его поглощения исследуемым массивом горных пород. Регистрируя ослабление этого излучения, представляется возможным определять массу, среднюю плотность и скорость движения селевых потоков.

Физические принципы, технические средства, методики реализации ядерно-физических методов, а также вопросы интерпретации результатов измерений детально рассмотрены в специальной литературе [12, 15, 18, 22, 27,28]. Цель настоящей главы заключается лишь в том, чтобы проиллюстрировать возможности этих методов при решении конкретных задач и отметить те особенности их применения, которые возникают при изучении оползней и селей.

2. Изучение инженерно-геологических и гидрогеологических условий развития оползней и селей

Физические свойства горных пород. Изучение физических свойств оползневых и селевых отложений на основе отбора и последующего анализа образцов связано со специфическими трудностями. Эти отложения характеризуются значительной неоднородностью свойств в массиве, различной трещиноватостью и водонасыщенностью отдельных участков, что затрудняет экстраполяцию результатов лабораторных определений свойств на ближайшие участки даже при наличии нескольких проб из определенного объема керна. Такие же трудности возникают при опробовании отложений, имеющих слоистую текстуру. Кроме этого, необходимость проведения большого объема буровых и других разведочных работ, в результате чего происходит нарушение естественных процессов, также ограничивает возможности этих методов. Следует отметить, что качественный отбор образцов ненарушенной структуры весьма затруднен в крупнообломочных, рыхлых, переувлажненных и мерзлых породах.

В связи с этим для определения физических свойств горных пород в последние годы все более широко начинают привлекаться радиоизотопные методы, основанные на различных эффектах взаимодействия нейтронного и гамма-излучения искусственных источников с исследуемой средой. Основные достоинства этих методов сводятся к следующему: 1) измерения производятся непосредственно в исследуемом массиве горной породы без нарушения ее естественного сложения и процессов; 2) результаты измерений характеризуются большой представительностью, так как свойства пород осредняются по объему, составляющему 0,05–0,20 м^3; 3) обеспечивается воспроизводимость условий измерений, так как измерения в заданной точке могут быть повторены произвольное количество раз; 4) измерения могут проводиться с любой детальностью, вплоть до получения непрерывных пространственных и временных распределений; 5) в несколько раз повышается производительность измерений, снижаются затраты ручного труда.

Наибольшее распространение радиоизотопные методы получили для измерения объемной влажности и плотности склоновых отложений. Эти данные являются основой для искусственных расчетов с использованием общеизвестных соотношений [14, 17] плотности скелета, естественной влажности, общей пористости и степени влажности горных пород. Погрешности определения указанных свойств связаны с погрешностями радиоизотопных измерений влажности и плотности следующими выражениями [9]:

$$\sigma(\gamma_c) = [\sigma^2(\gamma_в) + \sigma^2(W_{об})]^{0,5}, \qquad (11.1)$$

$$\sigma(W) = \gamma_c^{-1}[(1+W)^2\sigma^2(W_{об}) + W^2\sigma^2(\gamma_в)]^{0,5} \qquad (11.2)$$

$$\sigma(n) = \gamma_м^{-1}\{\sigma^2(\gamma_в) + \sigma^2(W_{об}) + [\gamma_c/\gamma_м\,\sigma(\gamma_м)]^2\}^{0,5} \qquad (11.3)$$

$$\sigma(S) = n^{-1}\{\sigma^2(W_{об}) + \frac{S^2}{\gamma_м^2}[\sigma^2(\gamma_в) + \sigma^2(W_{об}) + \frac{\gamma_c^2}{\gamma_м^2}\sigma^2(\gamma_м)]\}^{0,5} \qquad (11.4)$$

где $\sigma(\gamma_c), \sigma(W), \sigma(n), \sigma(S), \sigma(\gamma_м)$ – среднеквадратичные погрешности определения плотности скелета γ_c, естественной влажности (по массе) W, общей пористости n, степени

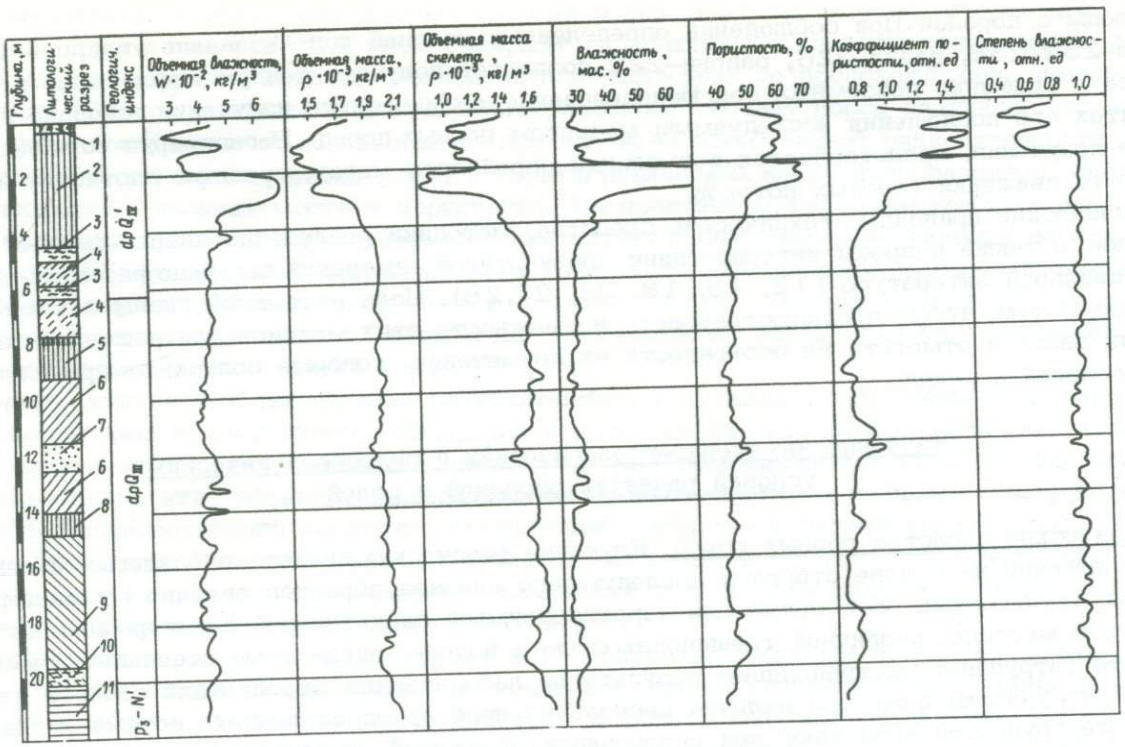


Рис. 11.1. Распределение по глубине физических свойств пород оползня "Эшера" в Абхазии по данным радиоизотопных измерений: 1 – почвенный слой; 2 – глины желто-серые, бесструктурные, мягкопластичные с включениями суглинков, супесей и песка; 3 – глины серые, перемятые, бесструктурные, текучепластичные; 4 – глины темно-серые с нарушенной структурой и включениями глауконитовых песков; 5 – породы, размытые при бурении; 6 – глины темно-серые, слоистые с прослоями мощностью 1–2 мм светло-серых песков; 7 – глины темно-серые, трещиноватые с прослоями и линзами глауконитовых крупнозернистых песков; 8 – глины темно-серые, слоистые, полутвердой консистенции, 9 – глины темно-серые, слоистые, трещиноватые с линзами и прослоями светло-серого песка и включениями разрушенного пирита. 10 – зона максимального развития трещиноватости, по трещинам в глине линзы и затеки ожелезненного песка, 11 – глины темно-серые, слоистые с присыпкой тонкозернистого песка

влажности (водонасыщенности) S и плотности минеральных частиц $\gamma_м$, соответственно; $\sigma(\gamma_в)$ и $\sigma(W_{об})$ – среднеквадратичные погрешности определения плотности $\gamma_в$ и объемной влажности $W_{об}$ радиоизотопными методами. Расчеты по формулам (11.1)-(11.4) показывают, что среднеквадратичная погрешность определения естественной влажности не превышает ±10% при ее значениях, превышающих 0,2. Общую пористость и степень влажности можно определять с такой же погрешностью при абсолютных значениях общей пористости, превышающих 20%, если плотность минеральной части породы известна с погрешностью не более ±50 кг/м^3.

На рис. 11.1 приведены результаты определения вышеуказанных свойств пород оползня "Эшера" в Абхазской АССР (СССР) при помощи радиоизотопного влагоплотномера УР-70. Склон, на котором образовался оползень, сложен наклонно залегающими в сторону моря слоистыми темно-серыми глинами майкопской свиты. Ведущие факторы оползнеобразования – абразия и увлажнение склона атмосферными осадками. По совокупности кривых распределения по глубине влажности, плотности, пористости и степени влажности пород отмечаются участки разреза с аномальными значениями этих свойств. Максимум влажности и минимум плотности на глубинах 2–3 м связан с наличием трещинных грунтовых вод в верхнем сильно выветрелом слое древнеоползневых отложений. Повышенные значения влажности и соответствующие им более низкие значения плотности скелета породы, наблюдающиеся на глубинах 11,5–12,5 м, обусловлены наличием прослоев глауконитовых песков в толще трещиноватых глин. По данным бурения, на глубине 19–20 м отмечается зона поверхности смещения древнего оползня, где имеет место значительная разуплотненность и трещиноватость пород, что подтверждается и

данными радиоизотопных измерений. Измерения по всей сети скважин показали, что по разрезу оползня "Эшера" выделяются три ослабленные зоны с аномальными значениями изучаемых свойств, аналогичные рассмотренным выше. Результаты этих измерений во всех случаях были подтверждены данными бурения.

Следует отметить, что имеющийся опыт применения радиоизотопных методов для определения физических свойств оползневых отложений показывает, что присутствующие в оползневом массиве зоны ослабления достаточно однозначно выделяются по результатам радиоизотопных измерений, так как им, в большинстве случаев, присущи более высокая влажность и более низкая плотность по сравнению с ближайшими участками разреза оползневого массива. В то же время, ослабленные зоны в ряде случаев практически не фиксируются при колонковом бурении, но хорошо просматриваются в шурфах.

Представляют интерес результаты каротажа скважин, оборудованных на оползне "Эшера" прибором РК-72, позволяющим реализовать измерения интенсивности замедленных породой нейтронов (ННК) и гамма-излучения радиационного захвата тепловых нейтронов (НГК-С) в различных энергетических интервалах. Из рис. 11.2 видно, что результаты измерений показывают хорошую корреляцию с литологическим разрезом, влажностью и плотностью пород. При этом четко выделяются три аномальные зоны на глубины 5,75-6,25 м, 11,50-12,50 м и 19,60-20,0 м, что обусловлено наличием в разрезе переувлажненных, трещиноватых и разрушенных пород. При этом результаты

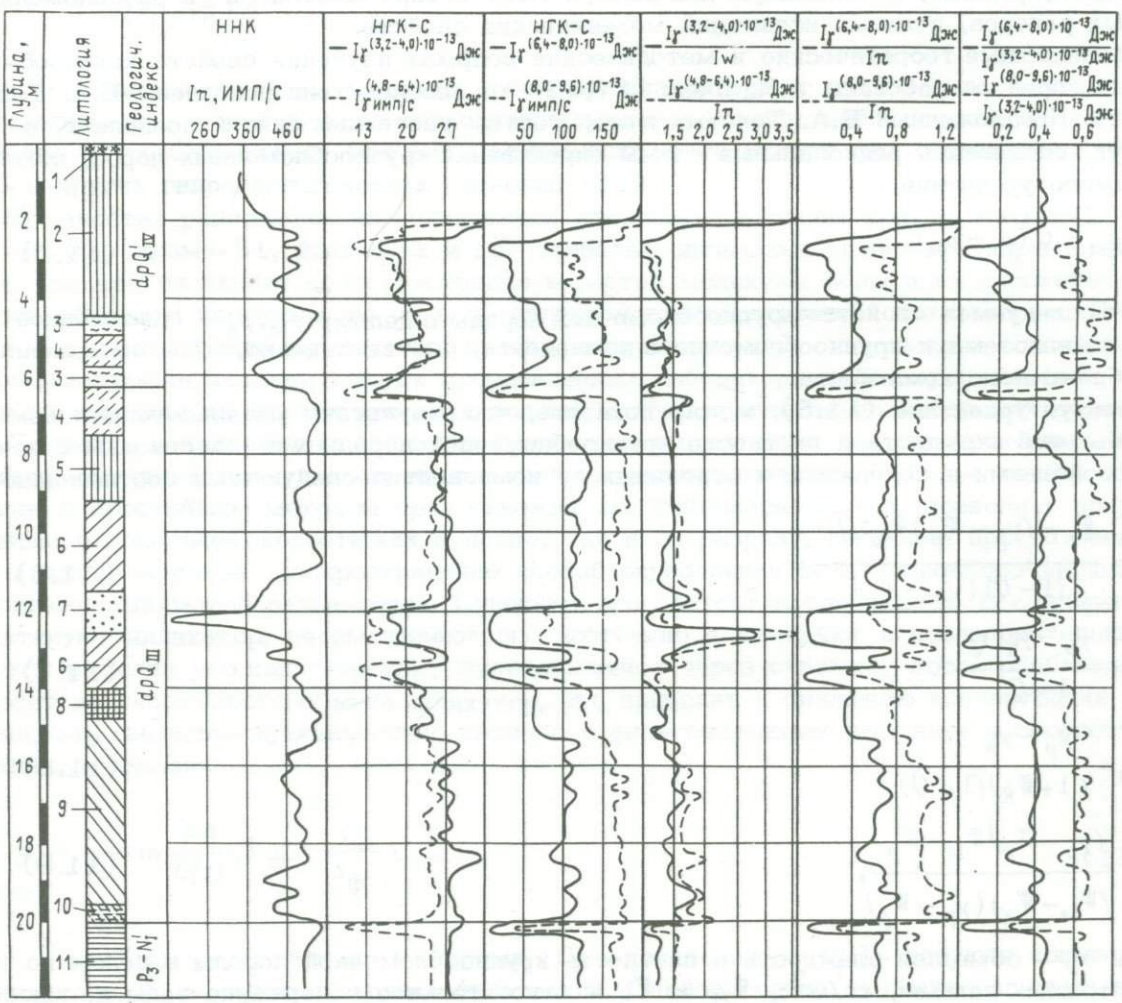


Рис. 11.2. Результаты нейтрон-нейтронного и спектрометрического нейтрон-гамма каротажа одной из скважин на оползне "Эшера" в Абхазии. Обозначения те же, что и на рис. 11.1

измерений интенсивности гамма-излучения радиационного захвата (ГИРЗ) тепловых нейтронов в выбранных энергетических интервалах практически не различаются по чувствительности к этим аномальным зонам. Нормировка показаний прибора в каналах регистрации ГИРЗ к показаниям в канале регистрации медленных нейтронов с целью частичного исключения влажности на показания НГК-С показала, что для ГИРЗ с энергией (3,2-4,0) $\times 10^{-13}$ Дж и (4,8-6,4) $\times 10^{-13}$ Дж, характер кривых существенно изменяется: относительная высота пиков в верхней и нижней аномальных зонах становится меньше, в то время как экстремум в средней зоне становится больше и приобретает обратный характер. Этот факт связан, по-видимому, с отличием средней зоны от двух остальных по химическому составу и плотности. В других случаях нормировка не привела к существенному изменению характера кривых. Таким образом, наряду с прямой задачей детального изучения физических свойств оползневых отложений в условиях естественного залегания, радиоизотопные методы в различных каротажных модификациях могут эффективно использоваться для уточнения границ литологических разностей, а также выявления ослабленных зон, представленных водоносными песчаными прослоями, переувлажненными глинами и зонами повышенной трещиноватости пород. Непрерывные распределения по глубине изучаемых свойств позволяют получить обобщенные показатели естественного состояния пород для отдельных инженерно-геологических элементов, выделяемых на основе однородности и выдержанности в пределах каждого элемента состава, строения и физических свойств. Кроме того, радиоизотопные методы могут давать оперативную информацию, необходимую для выбора мест отбора монолитов и расположения глубинных реперов, полевых испытаний механических свойств.

Принципиальные теоретические и методические вопросы изучения свойств крупнообломочных пород разработаны А.И. Шеко [17,18] и впоследствии дополнены Е.А. Толстых [14]. Предложенный Е.А. Толстых метод систем расчетных связей позволяет, в частности, составлять рациональные схемы опробования крупнообломочных пород, исходя из основного уравнения:

$$\rho = \rho_{м} + Q(\rho_{к} - \rho_{м}), \qquad (11.5)$$

где ρ – исследуемое свойство крупнообломочной породы в целом; $\rho_{м}, \rho_{к}$ – одноименное свойство мелкозема и крупнообломочного компонента, соответственно, Q – содержание крупнообломочного компонента.

Используя уравнение (11.5), можно показать, что результаты радиоизотопных измерений объемной влажности и плотности крупнообломочной породы в целом связаны с этими же свойствами и содержанием отдельных ее компонентов следующими соотношениями:

$$W_{м} = \frac{W_{р} - (\gamma_{р} - W_{р}) W_{к} \cdot Q}{(1-Q)(\gamma_{р} - W_{р})}, \qquad (11.6)$$

$$\gamma_{м} = \frac{\gamma_{р} - \gamma_{к} \cdot Q}{1-Q}, \qquad (11.7)$$

$$\gamma_{см} = \frac{\gamma_{р} - \gamma_{к} \cdot Q}{(1+W_{к})(1-Q)}, \qquad (11.8)$$

$$Q = \frac{(\gamma_{р} - W_{р}) W_{м} - W_{р}}{(W_{м} - W_{к})(\gamma_{р} - W_{р})}, \qquad (11.9)$$

где $W_{р}$ и $\gamma_{р}$ – объемная влажность и плотность крупнообломочной породы в целом по радиоизотопным данным, кг/м^{3}:, $W_{м}$ и $W_{к}$ – относительное содержание воды по массе в мелкоземе и крупнообломочном компоненте; $\gamma_{м}$ и $\gamma_{к}$ – плотность мелкозема и крупнообломочного компонента при естественной влажности, кг/м^{3}; $\gamma_{см}$ – плотность скелета мелкозема, кг/м^{3}; Q – относительное содержание по массе крупнообломочного компонента.

Как известно [17], свойства крупнообломочного компонента несущественно изменяются во времени и пространстве и зависят лишь от петрографического состава об-

ломков. В связи с этим влажность и объемная масса крупнообломочных включений может рассматриваться в уравнениях (11.6)-(11.9) в качестве констант, которые определяются с требуемой точностью обычными лабораторными методами. Отсюда следует, что на основе радиоизотопных измерений влажности и плотности крупнообломочной породы в целом представляется возможным рассчитывать влажность и плотность мелкозернистой ее части с привлечением данных о содержании крупнообломочных частиц. В другом варианте, дополняя радиоизотопные данные результатами измерения влажности мелкозема, можно вычислять содержание крупных и мелких фракций. Опыт показывает, что применение радиоизотопных методов позволяет существенно сократить объем работ, связанных с изучением физических свойств мерзлых и крупнообломочных пород. При этом значительно повышается надежность и представительность информации за счет того, что измерения выполняются в условиях естественного залегания пород, причем объем исследуемой породы, как правило, в несколько раз превышает объем лабораторных образцов.

Эффективная пористость с применением индикаторов определяется при помощи пусковой и наблюдательной скважин, оборудованных на один и тот же горизонт. При совершенном вскрытии напорного водоносного горизонта мощностью m искомую пористость определяют по формуле:

$$n_{эф} = \frac{Qt}{\pi(r_1^2 - r_0^2)\,m}, \qquad (11.10)$$

где Q – расход откачек, t – время добегания индикатора от пусковой до наблюдательной скважины, r_1 – расстояние между скважинами, r_0 – радиус наблюдательной скважины. Обычно $r_1 >> r_0$. Существует еще ряд модификаций этого метода для безнапорных горизонтов и других гидрогеологических условий (16).

В качестве радиоактивных индикаторов используют изотопы трития, натрия-22-24, брома-82, хрома-51, йода-131 и др. Наиболее оптимальным является применение трития, так как он входит непосредственно в состав молекулы воды и не участвует в процессе обмена с породами, то есть он является консервативным индикатором. Его применение перспективно потому, что в ряду многих изотопов он наименее токсичен и в настоящее время налажен выпуск промышленных лабораторных бета-радиометров, предназначенных для измерения трития в водных пробах сравнительно небольших объемов.

Скорость и направление движения грунтовых и подземных вод, приуроченных к оползневым массивам, нетрудно определить индикаторным методом, он более точен, по сравнению с простейшим методом трех скважин или гидроизопьез, т.е. позволяет получать данные о локальной скорости как в плане, так и по разрезу. Наиболее просто реализуется и нашел широкое распространение способ определения фильтрационного расхода – однескважинный метод разбавления. Сущность его состоит в следующем. В скважину инжектируют индикатор, перемешивают его постоянно и измеряют в последовательные моменты времени его концентрацию. Фильтрующийся через скважину поток разбавляет и уносит из скважинного объема индикатор, что приводит к снижению концентрации во времени, это смешение функционально связано с фильтрационным расходом и скоростью фильтрации, а именно

$$q_ф = \frac{V}{t} \ln \frac{C_0}{C(t)}, \; V_ф = \frac{q_ф}{S_ф}, \qquad (11.11)$$

где V – объем разбавления, t – время, C_0 – начальная, а $C(t)$ – текущая концентрация индикатора, $S_ф$ – сечение потока фильтрации. Следовательно, в полулогарифмическом масштабе график изменения концентрации индикатора в скважине есть прямая, что позволяет контролировать правильность опыта. Наибольшую неопределенность вызывает величина $S_ф$, которая зависит от конструкции скважины и фильтра. Скорость фильтрации обычно стремятся ограничить путем применения пакеров или специальных измерительных объемов (снарядов), что позволяет, в принципе, последовательно оценить $q_ф$ по

5386

стволу скважины, оборудованной фильтром. Этот метод особенно пригоден для сравнительных измерений $q_ф$ в одинаковых геологических и технологических условиях.

Направление движения вод оценивают аналогично тому, как это делается при установлении гидравлических взаимосвязей, либо с применением специализированных скважинных устройств (например, зондов А.А. Абдуллаева, В.С. Гончарова и др.) [16, 13]. К сожалению, ни один из них не выпускается серийно и должен изготавливаться силами исследователя.

Оценка скорости движения подземных вод производится в некоторых случаях по содержанию изотопов трития и радиоуглерода. Такие измерения могут быть осуществлены, если по геолого-структурным данным реализуется, хотя бы приближенно, одномерный поток без вовлечения и смешения между точками опробования. Тогда

$$V = \frac{x}{\tau_1} \quad \text{или} \quad V = \frac{\bar{x}}{\tau_2}, \tag{11.12}$$

где x – длина пути между зоной питания и точкой опробования, $\bar{x}$ – средние характеристические размеры системы, в которой τ_1 и τ_2 – среднее время добегания или пребывания, соответственно. Таким образом могут быть поставлены и режимные наблюдения, поскольку изменение напряженного состояния и структурная перестройка оползневых массивов неизбежно сказывается на динамике приуроченных к ним потоков грунтовых и подземных вод.

Оценка коэффициента фильтрации производится по данным о действительной скорости движения подземных вод и (или) времени добегания:

$$K_ф = \frac{V}{I} = \frac{x}{I \cdot \tau_1}, \tag{11.13}$$

где I – градиент напора в направлении потока, τ_1 – время добегания, оцененное путем запуска индикатора или по данным изотопных определений.

Гидравлические взаимосвязи изучают, используя искусственные индикаторы и данные изотопного опробования. В первом случае индикатор запускается в предполагаемой зоне питания и непрерывно измеряется его концентрация в водопроявлениях, для которых необходимо установить наличие или отсутствие взаимосвязи. Запуск индикатора может быть мгновенным, когда в исследуемый поток вводится мгновенно известная порция индикатора M, или импульсным, когда в поток в течение некоторого интервала времени запуска вводится раствор индикатора с известными и постоянными концентрациями и расходом. Наблюдение при рекогносцировочных запусках начинается сразу же после запуска, а последующие, уточняющие, – с момента, гарантирующего надежное определение прохождения индикатора в пунктах наблюдения. По факту прохождения индикатора в точке наблюдения судят о наличии гидравлической связи между местом запуска и наблюдения, а по суммарному количеству индикатора, прошедшему через наблюдательный пункт (для этого, если представляется возможным, измеряют расход) оценивают, весь ли индикатор прошел через точку наблюдения. Если зарегистрированное количество $M_З \approx M$, то связь можно полагать однозначной, если $M_З \ll M$, то это означает, что зона питания связана с другими участками разгрузки. По выходным индикаторным кривым оценивают время добегания воды.

$$\tau_1 = \frac{\int_0^\infty t\, C_{вых}(t)\, g(t)\, d(t)}{\int_0^\infty C_{вых}(t)\, g(t)\, d(t)}, \tag{11.14}$$

где $C_{вых}(t)$ – выходная концентрация индикатора в пункте наблюдения, t – время с начала запуска, $d(t)$ – интервал между последовательными моментами наблюдения, $g(t)$ – расход воды в точке наблюдения (роднике, скважине). Если принять, что за время опыта $g(t) = \text{const}$, что обычно выполняется, то, подставляя интегралы в (11.14) в виде суммы, получаем

$$\tau_1 = \Sigma\, t_i \frac{C_{\text{вых}}(t_i)\,\Delta t}{\Sigma\, C_{\text{вых}}(t_i)\,\Delta t}. \qquad (11.15)$$

Отсюда средняя кажущаяся скорость движения подземных вод

$$V = \frac{L}{\tau_1}, \qquad (11.16)$$

где L – расстояние между пунктами инжекции и наблюдения.

Форма выходной кривой позволяет судить о структуре потоков. Одномодальные распределения свидетельствуют в пользу локального потока, двух и более модальные распределения – в пользу наличия двух и более потоков между местом запуска и наблюдения. Дисперсия этих кривых характеризует гидравлическую дисперсию потока.

По данным изотопного опробования поверхностных, грунтовых, подземных вод, а также атмосферных осадков, взаимосвязь устанавливается по идентичности изотопного состава сравниваемых вод. Для однозначности результата привлекается дополнительная гидрогеологическая информация, т.к. изотопный состав сравниваемых вод может оказаться одинаковым из-за того, что имеется один и тот же источник питания, а в зоне транзита содержание не изменялось. Генезис подземных вод, приуроченных к оползневым телам и массивам, нетрудно обычно оценить по данным опробования грунтовых и подземных вод на изотопы ^{2}H (дейтерий), ^{3}H (тритий), ^{18}O, ^{14}C (радиоуглерод) и в некоторых случаях уран-234/238, радий-226, радон-222 (23-26). В частности, воды, питающиеся атмосферными осадками, по ^{2}H и ^{18}O должны ложиться вблизи прямой Крейга в некоторой локальной зоне, характерной для данного региона. Если подземные воды являются результатом смешения морских (современных или реликтовых) вод, или прошли стадию глубинной циркуляции в условиях повышенных температур, то наблюдается соответствующий сдвиг изотопного состава относительно прямой Крейга [10]. Наличие трития в измеряемых количествах свидетельствует о современности изучаемых вод в пределах 0-100 лет, отсутствие трития или малое его количество наряду с присутствием радиоуглерода указывает на сравнительно замедленный цикл водообмена. Наличие сезонных вариаций изотопного состава по тритию, кислороду-18 и дейтерию может свидетельствовать о прямой и весьма быстрой связи с атмосферными осадками и (или) поверхностными водотоками [8].

Определение характеристик селевых потоков. В настоящее время для наблюдений за селевыми потоками используются методы визуальных наблюдений, непосредственных обмеров, кинофотосъемки, сейсмоакустический, допплеровский, радиочастотный. Ни один из них не дает возможности оперативно получать информацию о наиболее важных характеристиках селевых потоков, а получаемая этими методами информация далеко не всегда может быть использована для целей своевременного оповещения о селевой опасности. Поэтому определенный интерес представляет метод, основанный на использовании космического излучения [5].

Сущность метода заключается в следующем. На дне предполагаемого русла селевого потока устанавливаются детекторы космического излучения, соединенные электрически с внешним регистрирующим прибором. При отсутствии селевого потока скорость счета импульсов I_0, регистрируемых детекторами космических частиц, максимальна. При прохождении селевого потока детекторы экранируются его массой, и регистрируемая скорость счета уменьшается в соответствии с общеизвестным законом ослабления до величины I. Теущее во времени значение массовой толщины селевого потока $m(t)$ определяется из соотношения

$$m(t) = \frac{1}{\mu}\left[1 - \frac{I}{I_0}\right], \qquad (11.17)$$

где: μ – массовый коэффициент поглощения космического излучения материалом селевого потока.

Временное распределение величины $V \cdot m(t)$, где V – скорость движения потока, ха-

5386

рактеризует "массовый" гидрограф селевого паводка. Если некоторая характерная точка такого гидрографа (например, максимум или среднее значение $m(t)$ переднего фронта фиксируется на двух соседних створах в моменты t_1 и t_2 соответственно, то скорость потока оценивается величиной

$$V = \frac{t_2 - t_1}{l}, \tag{11.18}$$

где l – разнос между створами. Отсюда нетрудно найти массовый расход селевого потока на единицу его ширины, который при $\mu m < 1$ может быть вычислен по формуле:

$$Q(t) = V \cdot m(t) = \frac{V}{\mu}(1 - \frac{l}{l_0}), \tag{11.19}$$

а полная масса селевого материала, прошедшего через наблюдательный створ на единицу его ширины определяется:

$$M = \int_0^\theta Q(t) = \int_0^\theta V \cdot m(t)\,dt = \frac{1}{\mu}\int_0^\theta V(1 - \frac{l}{l_0})\,dt, \tag{11.20}$$

где момент $t = 0$ соответствует началу, а θ – окончанию прохождения селевого потока.

Если по профилю, поперечному селевому руслу, расположить несколько детекторов, то можно определить суммарный расход материала, переносимого селевым потоком, а именно:

$$Q_\Sigma(t) = V \sum_{i=1}^{n} m_i(t)\Delta y, \tag{11.21}$$

где Δy – расстояние между детекторами, $m_i(t)$ – показания i -го детектора. Продолжая наблюдения после схода селя, можно получить информацию о динамике эрозии селевого материала, занесенного в русло. Если же независимыми наблюдениями установлены изменения уровня в наблюдательном створе, то нетрудно оценить среднюю плотность материала селевого потока.

Таким образом, рассмотренный способ позволяет определять целый ряд характеристик селевых потоков, которые в динамике непосредственно не определяются другими способами.

3. Изучение режима оползней и селей

Режим влажности и плотности горных пород. Как известно, развитие оползневых и селевых процессов во многих случаях зависит от влажности и плотности слагающих их пород [5]. В общем случае можно отметить два аспекта такой зависимости. Во-первых, увеличение влажности, как правило, трещиноватых склоновых отложений в процессе водонасыщения инфильтрующимися атмосферными осадками или грунтовыми водами приводит к увеличению их массы и, соответственно, сдвигающих сил в плоскости формирующейся или уже возникшей поверхности смещения. Коэффициент устойчивости склона при этом уменьшается. Во-вторых, изменение влажности пород вызывает изменение и. прочностных свойств, в том числе сдвиговых характеристик. Изучение режима влажности и плотности склоновых отложений позволяет определить их влияние на динамику оползневого процесса, т.е. оценить связи между влажностью и плотностью пород и кинематическими характеристиками оползневого процесса, в первую очередь – величиной и скоростью оползневых смещений. Особое значение имеют наблюдения за изменением влажности и плотности в ослабленных зонах, прилегающих к поверхности смещения.

Опыт показывает, что из всех известных в настоящее время методов наиболее полно современным методическим и технико-экономическим требованиям при постановке режимных наблюдений за влажностью и плотностью горных пород отвечают радиоизотопные методы [8,11]. В частности, при их использовании в ряде случаев удается получить качест-

венно новую информацию о факторах, определяющих оползневой процесс. В качестве примера на рис. 11.3 приведены типичные результаты режимных измерений влажности и плотности радиоизотопным влагоплотномером УР-70 по одной из скважин, расположенных в средней части оползня "Эшера" в Абхазии (СССР). В течение 1974-1977 гг. было проведено 15 циклов таких измерений, причем на рис. 11.3 заштрихованы интервалы полученных в процессе измерений значений влажности и плотности. При этом установлено, что изменение влажности в верхней зоне достигает 280 кг/м^3 за счет сезонных изменений увлажненности атмосферными осадками. В летнее время осадки носят периодический ливневый характер и расходуются, в основном, на поверхностный сток. Кроме того, благодаря высоким среднесуточным температурам происходит быстрое испарение влаги, накапливающейся в трещинах и на поверхности оползня. Поэтому в летнее время изменения влажности после осадков происходят только в приповерхностном слое мощностью 1,0-1,2 м, причем уже через несколько дней эпюра влажности приобретает исходный характер. В осенне-зимний период преобладают затяжные, моросящие дожди при сравнительно низких (от 0 до +10°С) среднесуточных температурах, в результате чего происходит практически полное насыщение влагой пород до глубины 4 м. Особо следует отметить результаты режимных наблюдений в интервале глубин 11,5-12,5 м, где имели место изменения влажности в пределах (4,2-5,0)·10^2 кг/м^3. Учитывая то, что эта зона находится ниже уровня грунтовых вод, изменение ее влажности, в принципе, может быть вызвано двумя факторами - изменением пористости и (или) порового давления.

Анализ плотности скелета пород, слагающих оползень, которая вычислялась для каждого цикла измерений на основе измеряемых значений влажности и плотности влажной породы, показал, что распределение плотности скелета оставалось постоянным (в пределах погрешности измерений) во времени по всему разрезу, исключая указанную зону. Увеличение плотности скелета в этом интервале глубин сопровождалось уменьшением влажности и наоборот. В частности, увеличению влажности на 50 кг/м^3 в период с 26 февраля по 26 июля 1975 г. соответствовало уменьшение плотности скелета примерно на 150 кг/м^3 (рис. 11.4). В связи с тем, что объемная масса скелета однозначно связана с пористостью, можно заключить, что изменение влажности в данном случае обусловлено изменением общей пористости. Наряду с этим для каждого цикла из-

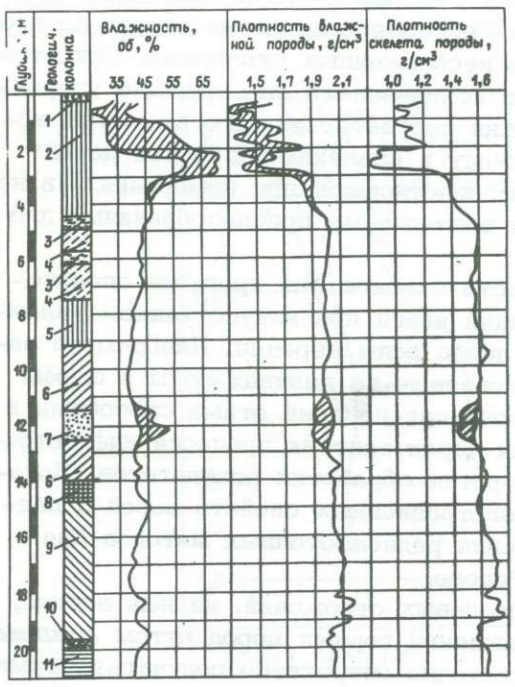


Рис. 11.3. Результаты режимных наблюдений за влажностью и плотностью пород оползня "Эшера" в Абхазии. Обозначения те же, что и на рис. 11.1

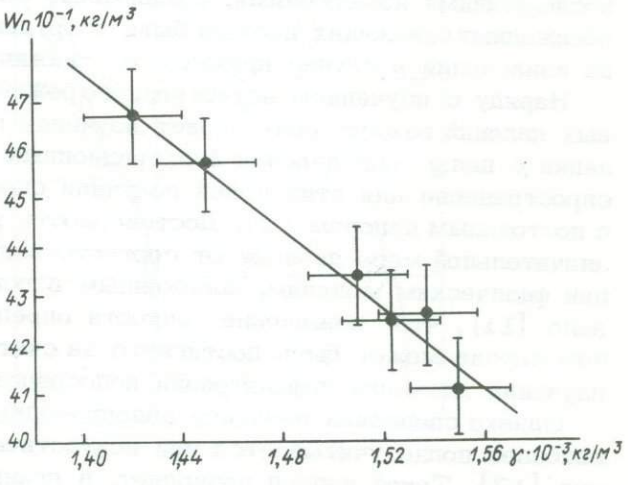


Рис. 11.4. Зависимость между влажностью и плотностью прослоя на глубине 12-13 м

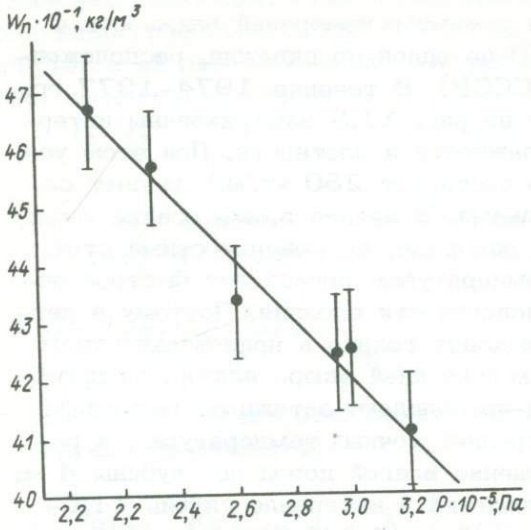


Рис. 11.5. Зависимость между влажностью прослоя на глубине 12–13 м и давлением на него вышележащей толщи

мерений была проанализирована взаимосвязь между влажностью и плотностью прослоя на глубине 11,5–12,5 м и этими же свойствами пород вышележащей толщи. Рис. 11.5 иллюстрирует однозначную связь вычисленных по радиоизотопным данным средней влажности прослоя W_n и давления P вышележащей толщи на этот прослой. Анализируя рис. 11.4 и 11.5, можно заключить, что увеличение давления вышележащей толщи на ослабленную зону за счет увеличения влагозапаса в этой толще приводит к уплотнению зоны, воспринимающей нагрузку. При последующем частичном снятии нагрузки на ослабленную зону происходит ее разуплотнение. Эти процессы связаны, по-видимому, с тем, что прослой на глубине 11,5–12,5 м обладает упругими свойствами. Как указывалось ранее, этот прослой прослеживается по всему разрезу оползня "Эшера" на глубинах 10–12 м. Полученные результаты в целом свидетельствуют о том, что применение радиоизотопных методов открывает новые возможности при изучении процессов, происходящих в оползневом массиве.

Главная трудность при проведении режимных наблюдений за влажностью и плотностью в оползневом склоне радиоизотопными методами заключается в том, что оборудованные скважины выходят из строя в результате деформации при подвижках. Это значительно повышает затраты на производство измерений, а иногда делает их просто невозможными. Время, в течение которого скважина может нормально функционировать, зависит от скорости смещения оползня и для оползня "Эшера", например, изменяется от нескольких месяцев в средней части оползня до нескольких дней в нижней, наиболее активной части. Исходя из нашего опыта, следует рекомендовать оборудовать стационарные измерительные скважины, обсаженные стальными трубами, на участках, где наблюдаются медленные, не более 0,1 м в год, смещения. На активном оползне в качестве одного из возможных вариантов можно рекомендовать измерения в необсаженных скважинах. При этом необходимо производить их периодическую чистку или использовать фиксирующие устройства в виде толстостенной трубы или цельного стержня соответствующего диаметра, которые после окончания измерений опускаются в скважину и извлекаются из нее перед последующими измерениями. Скважинные снаряды влагоплотномера при измерениях в необсаженных скважинах должны быть оборудованы дополнительными приспособлениями для их извлечения в случае прихвата в скважине.

Наряду с изучением естественного режима влажности склонов для прогноза оползневых явлений важную роль играет изучение инфильтрации влаги при искусственном увлажнении с целью определения фильтрационных свойств пород зоны аэрации. Наибольшее распространение для этих целей получили способы, основанные на наливах воды в шурфы с постоянным напором [9]. Достоверность результатов исследований этими способами в значительной мере зависит от соответствия реальных характеристик процесса инфильтрации физическим моделям, положенным в основу алгоритма обработки результатов. Показано [11], что повышение точности определения фильтрационных свойств пород в данном случае может быть достигнуто за счет привлечения радиоизотопных методов для изучения динамики инфильтрации непосредственно в среде.

Однако специфика изучения водопроводимости оползневых отложений, на наш взгляд, наиболее полно учитывается при искусственном увлажнении горных пород путем дождевания [17]. Такой подход позволяет, в принципе, достаточно оперативно получать информацию об инфильтрации осадков в зависимости от целого ряда факторов (крутизна склонов; интенсивность и продолжительность осадков; литологический состав, водно-физические и инженерно-геологические свойства пород). Одним из важнейших аспектов этих исследований является изучение динамики увлажнения и глубины промачивания пород зоны аэрации, определяющих, в конечном итоге, возможность попадания инфильтрующихся осадков

в ослабленные зоны, поверхности смещения или грунтовые воды. Очевидно, что эта задача может быть решена лишь в том случае, когда обеспечены многократные измерения влажности в одних и тех же точках исследуемого участка без нарушения его естественного сложения. Для получения подобной информации наиболее целесообразно использовать радиоизотопные методы.

Сущность методики заключается в следующем. На ненарушенном склоне оборудуется площадка для дождевания, в центре которой закладывается скважина для радиоизотопных измерений влажности и плотности пород. При этом обеспечивается плотная посадка обсадной трубы в породу для исключения просачивания влаги по границе раздела между ними. Перед началом, в процессе и после дождевания производятся измерения распределения влажности и плотности по глубине при помощи скважинных радиоизотопных влагоплотномеров. На рис. 11.6 приведены результаты измерений влагоплотномером УР-70 распределения влажности и плотности по глубине до и после дождевания для трех участков, расположенных на делювиальных отложениях межоползневых гребней Эшерского оползневого района. Результаты этих измерений свидетельствуют о том, что процесс инфильтрации осадков происходит при дефиците водонасыщения пород. На определенной стадии дождевания в некотором, возрастающем во времени по мощности интервале глубин, достигаются условия квазиустановившегося (равновесного) влагосодержания. Абсолютные значения влажности, соответствующие равновесной эпоре, зависят от интенсивности осадков, крутизны склона и водопроницаемости породы в вертикальном направлении. Ниже зоны квазиустановившегося влагосодержания располагается фронт увлажнения (впитывания), в пределах которого влажность изменяется от равновесных до естественных значений. Динамическое равновесие между интенсивностью дождя и интенсивностью инфильтрации подчиняется зависимости, установленной в общем виде А.И. Будаговским [2] и уточненной Ю.Б. Виноградовым [3]:

$$i = K(1 - e^{-a/K}), \qquad (11.22)$$

где: i – интенсивность инфильтрации; K – коэффициент фильтрации; a – интенсивность дождя, $e = 2,71\ldots$.

Результаты режимных радиоизотопных наблюдений за распределением по глубине массива влажности или плотности в процессе дождевания позволяют произвести непосредственную оценку интенсивности инфильтрации, выражаемой в слое воды, инфильтрующейся в

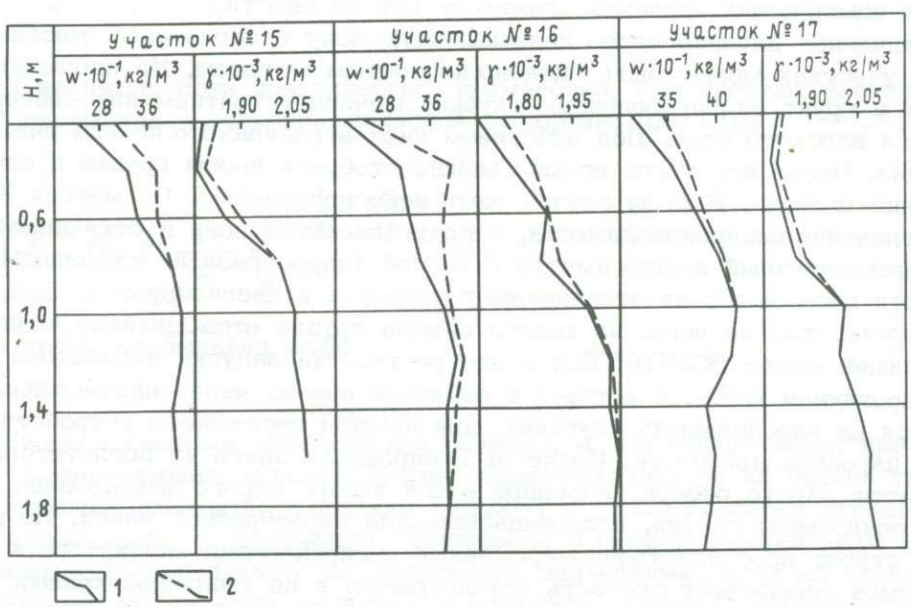


Рис. 11.6. Распределение по глубине влажности и плотности делювиальных отложений межоползневых гребней: 1 – перед дождеванием, 2 – после дождевания

единицу времени. Эти данные могут быть использованы для вычисления коэффициента фильтрации по формуле (11.22). Согласно А.И. Шеко [17], на графиках зависимости $i/K = f(a/K)$ можно выделить три области. Первая из них характеризуется тем, что поверхностный сток может образовываться только в том случае, если интенсивность дождя больше коэффициента фильтрации ($a/K \leqslant 0{,}3$). При значениях $a/K > 0{,}3$ поверхностный сток может образоваться и в тех случаях, когда коэффициент фильтрации больше интенсивности дождя. В третьей области ($a/K > 3$) поверхностный сток формируется очень быстро. Очевидно, что данные радиоизотопных измерений позволяют непосредственно рассчитать также параметры инфильтрации, как средняя скорость и количество инфильтрующихся осадков, а также глубину промачивания в зависимости от продолжительности и интенсивности осадков. В таблице 11.1 приведены результаты этих расчетов для рассматриваемого нами случая.

Таблица 11.1

Результаты изучения инфильтрации при дождевании

Номер участка	Время дождевания, $с \cdot 10^{-2}$	Интенсивность дождя, $м/с \cdot 10^{6}$	Слой выпавших осадков, $м \cdot 10^{3}$	Слой инфильтрующихся осадков		Средняя скорость инфильтрации, $м/с \cdot 10^{4}$	Глубина промачивания, м
				радиоизотопные измерения	объемные измерения		
15	54,0	5,6	30,2	31,9/29,6	29,6	1,30	0,7
16	60,0	12,2	73,1	69,9/71,4	71,5	2,83	1,7
17	52,2	3,3	17,3	17,0/18,5	17,0	1,72	0,9

Как видно из приведенной таблицы, получено вполне удовлетворительное совпадение результатов определения количества инфильтрующихся осадков по данным радиоизотопных измерений влажности или плотности пород в процессе дождевания и объемных измерений количества выпавших осадков и поверхностного стока. Однако следует отметить, что удовлетворительное совпадение можно получать лишь для сравнительно однородных площадок, так как информация, получаемая в результате радиоизотопных измерений, с учетом их глубинности по горизонтали, относится к площади $(0{,}8–30) \cdot 10^{-2} м^2$ в зависимости от измеряемых значений влажности или плотности.

Инфильтрационное питание через ненасыщенную зону в оползневых массивах и на прилегающих участках может быть оценено изотопным методом. На наблюдательной площадке вводят в грунт на определенную глубину меченную тритием или дейтерием воду в виде тонкого и плоского слоя. Под действием инфильтрационного потока пакет индикатора относится вниз. Через некоторое время можно отобрать пробы грунта и определить в них содержание изотопа. В этом случае опыт невоспроизводим. По методу К. Мюнниха, с целью обеспечения воспроизводимости, в грунт вводится зонд и откачивается с определенной глубины почвенный воздух вместе с влагой (парообразной, почвенной), которая на поверхности выделяется из откачиваемого воздуха и анализируется. Здесь возникает неопределенность, т.к. не ясно, из какого объема грунта отсасывается воздух. Этого недостатка лишен метод ВСЕГИНГЕО: в центре участка запуска индикатора устанавливается перфорированная труба, в которой в заданное время, через определенные интервалы экспонируются на определенных глубинах, при помощи несложного устройства, порции поглотителя парообразной влаги. После экспонирования влага из поглотителя отгоняется и анализируется. Место отбора почвенной влаги теперь строго фиксировано, так как используемый зонд имеет секции, непроницаемые для парообразной влаги. По результатам опробования строят пространственно-временные распределения индикатора и по положению максимумов определяют скорость инфильтрации, а по уширению кривых – дисперсию инфильтрационного потока. Расход инфильтрационного питания оценивается по формуле:

$$Q = V \cdot w, \qquad (11.23)$$

где V – скорость инфильтрации, а w – объемная влажность. Сравнение изотопного ме-

тода с традиционным (лизиметрическим и балансовым) показало хорошую сходимость результатов и преимущества с точки зрения простоты реализации наблюдений. Измерения содержания трития осуществляют с помощью бета-радиометров, а дейтерия-масс-спектрометров.

Идентификацию характера водообмена и оценку его характеристик для территорий, подверженных оползневым процессам и в самих оползневых массивах, можно осуществить путем режимных наблюдений за изотопным составом подземных вод и атмосферных осадков. Данные таких наблюдений обычно интерпретируют на основе следующих физико-математических моделей гидрогеологических систем: 1) с поршневым вытеснением (СПВ); 2) с диффузионным перемешиванием (СПД); с полным перемешиванием (СПП). Первые два вида систем являются системами (моделями) с распределенными параметрами. В них концентрация изотопов и другие гидрогеохимические характеристики зависят от времени и пространственных координат. СПП относится к классу систем с сосредоточенными параметрами, ее состояние зависит от времени. Входные и выходные изменения концентрации изотопных компонентов для указанных систем определяются приведенными ниже соотношениями, которые для сокращения записи даны для одномерных потоков. Для СПП

$$C_{\text{вых}}(x, t) = C_{\text{вх}}(t)\,\delta(x - v\,t)\,e^{-\lambda \cdot x/v}; \qquad (11.24)$$

где $C_{\text{вых}}(x, t)$ – концентрация изотопа в опробуемой точке x от зоны питания в момент t, $C_{\text{вх}}(t)$ – концентрация на входе, λ – константа распада изотопа, v – средняя скорость движения воды, δ – дельта-функция Дирака. Это означает, что выходная концентрация повторяет входную со сдвигом на время добегания.

$$\tau = x/v \qquad (11.25)$$

с учетом распада в $e^{-\lambda \cdot x/v}$ раз, если изотоп радиоактивен. Время добегания воды и изотопного индикатора может оцениваться либо по сдвигу характерных максимумов (минимумов), либо по экспоненциальному тренду. Особенно это просто сделать, если входная концентрация постоянна, как это имеет место для радиоуглерода $C_{\text{вх}}(x, t) = C_0$. Тогда возраст воды как время добегания от зоны питания до точки опробования оценивается величиной

$$t = \tau = x/v = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{C_0}{C(x,t)} \qquad (11.26)$$

Модели СПД не нашли пока практического применения, т.к. требуют знания трудно определяемого параметра – гидродинамической дисперсии. Для СПП

$$C_{\text{вых}}(t) = \int_0^t C_{\text{вх}}(t-\theta)\,\frac{1}{\tau_n}\,e^{-\left(\frac{\theta}{\tau_n}+\frac{\theta}{\tau_p}\right)} \cdot d\theta. \qquad (11.27)$$

Здесь среднее время пребывания воды

$$\tau_n = V/q, \qquad (11.28)$$

где V – объем воды в системе (статические запасы), а q – расход воды, протекающий через систему (динамические запасы). Обычно параметры систем на основе указанных моделей определяются решением уравнений (11.26) – (11.28) путем итеративного подбора величин параметров до наилучшего (например, в смысле наименьшего среднеквадратичного отклонения) совпадения с наблюдаемыми значениями. Если интегралы аппроксимировать суммами, то расчеты несложно производить вручную. При сложных граничных условиях, сложном виде $C_{\text{вх}}$, приходится уже прибегать к расчетам на ЭВМ. В качестве входных значений применяют данные о содержании изотопов в осадках, пересчитанные на местные условия с учетом широтных и других эффектов или данным по поверхностным водам.

5386

Изучение напряженного состояния. В последнее время под влиянием работ, проводи-

мых по прогнозированию землетрясений, предложено использовать данные по радону и гелию в почвенном воздухе и подземных водах для оценки напряженного состояния оползневых массивов. Для этой цели измеряют содержание радона в подземной воде и почвенном воздухе при помощи эманометров, содержащих твердые или жидкие сцинтилляторы. Для измерений концентрации радона используют также фотопленки, закладываемые в грунт. Гелий измеряют при помощи электромагнитных измерителей. Полагают, что при возникновении в массиве пород дополнительных напряжений концентрация радона и гелия в подземных водах, протекающих через эти породы, или в почвенном воздухе, возрастает, поэтому режимные наблюдения за изменением их концентрации позволяют получать информацию о возникающих в массиве напряжениях. Следует иметь в виду, что концентрация гелия в пространстве изменяется еще и в зависимости от структуры массива, поскольку трещины, разломы являются естественными выводами глубинного гелия на дневную поверхность. По-видимому, наибольший эффект могут дать постоянные режимные наблюдения, а сеть наблюдений должна устанавливаться в зависимости от конкретных условий и с учетом разовой съемки полей гелия и радона в почвенном воздухе и подземных водах, приуроченных к изучаемому массиву пород.

Литература

1. Бабинец А.Е., Звольский С.Т. Исследование плотности и влажности грунтов методами радиоактивных излучений. Киев: Изд-во АН УССР, 1961, 140 с.
2. Будаговский А.И. Впитывание воды в почву. М.: Изд-во АН СССР, 1955, 140 с.
3. Виноградов Ю.Б. Некоторые вопросы формирования селевых потоков и методики их расчета. Труды КазНИГМИ, М.: Гидрометеоиздат, 1969, вып. 33, с. 5-29.
4. Дубинчук В.Т. О возможности определения характеристик селевых потоков при помощи космического излучения. "Инженерная геология", 1980, № 2, с. 85-89
5. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. М.: Недра, 1972, 308 с.
6. Карасев Б.В., Дубинчук В.Т. Способ определения величин инфильтрационного питания с применением изотопов водорода и кислорода. "Водные ресурсы", 1982, № 5, с. 176-180
7. Корниенко Н.Д. Применение радиоизотопных влагоплотномеров для определения общей пористости и водонасыщенности осадочных пород. "Изв. ВУЗов", сер. геология и разведка, 1977, № 9, Деп. ВИНИТИ, № 2197-77, с. 181.
8. Корниенко Н.Д., Маркарьян В.В. Изучение режима влажности и плотности оползневых массивов радиоизотопными методами. "Изв. ВУЗов", сер. геология и разведка, 1979, № 12, с. 112-116
9. Опытно-фильтрационные работы. Сб. статей. (Ред. В.М. Шестаков, Д.Н. Башкатов) М.: Недра, 1974, 203 с.
10. Природные изотопы гидросферы (ред. Ферронский В.И.) М.: Недра, 1975, 280 с.
11. Радиоизотопные и индикаторные методы при фильтрационных исследованиях зоны аэрации. (Гончаров В.С., Латышев С.И., Скомаровский А.Н.) "Радиоизотопные методы исследования в гидрогеологии". Киев: Наукова думка, 1975, с. 102-106
12. Сергеев Е.М. Голодковская Г.А., Трофимов В.Т. Грунтоведение. М.: Изд-во МГУ, 1973, 388 с.
13. Справочное руководство по применению ядерных методов в гидрологии и гидрогеологии. М.: Недра, 1971, 256 с.
14. Толстых Е.А. Расчетные связи показателей инженерно-геологических свойств крупнообломочных пород, содержащих пустоты. "Соврем. методы изуч. физ.-мех. свойств горн. пород". ВСЕГИНГЕО, 1972, с. 53-67.
15. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика. М.: Недра, 1976, 528 с.
16. Ферронский В.И., Данилин А.И., Дубинчук В.Т., Гончаров В.С., Селецкий Ю.Б. Радиоизотопные методы исследования в инженерной геологии и гидрогеологии. М.: Атомиздат, 1977, 304 с.
17. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. М.: Недра, 1980, 296 с.

18. Шеко А.И. Крупнообломочные грунты. "Метод. пособие по инж.-геол. изуч. горн. пород". М.: Изд-во МГУ, 1968, с. 323-341
19. Commercial portable gauges for radiometric determination of the density and moisture content of building materials. Techn. rep. ser., №130, Vienna IAEA, 1971,210 p.
20. Gaspar E., Oncesku M. Introducere in radiohidrologie Null. Acad. RSR, 1967, 344 p.
21. Isotope in Hydrology. Vienna, IAEA, 1967, 740 p.
22. Isotope in Hydrology. Vienna IAEA, 1970, 951 p.
23. Isotope Techniques in Groundwater Hydrology. Vienna IAEA, 1974, vol. 1, 502 p., vol. 2,495 p.
24. Neutron moisture gauges. TRS №112, Vienna, IAEA, 1970, 96 p.
25. Nuclear well logging in Hydrology. Vienna, IAEA, 1971, 92 p.

Глава 12

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

1. Общие положения

Для прогноза устойчивости оползневых склонов и селевых очагов, а также для разработки проектов селезащиты и противооползневых мероприятий, необходимо изучение свойств пород, слагающих оползневые склоны и селевые очаги.

Как показали региональные исследования, оползневой процесс проявляется как в скальных, так и в дисперсных породах с различным содержанием крупнообломочных включений. Механизм оползнеобразования в этих породах еще недостаточно изучен, хотя большинство исследователей считает, что в его основе лежат деформации сдвига и течения. Оползни течения развиваются, как правило, в глинистых породах, в которых при водонасыщении может возникнуть движение, подобное течению вязкой жидкости. Деформационное поведение пород в этом случае определяется их реологическими свойствами, и, в частности, склонностью к развитию деформаций ползучести.

Оползни сдвига (скольжения) могут возникать как в глинистых, так и в скальных породах, причем масштабы и интенсивность их проявления определяются такими свойствами пород, как прочность и ползучесть. Если учесть, что прочностные и реологические свойства пород зависят от их физического состояния (объемной массы, влажности, консистенции, склонности к набуханию и размоканию и т.д.), то станет очевидным, что для прогноза развития оползневых деформаций необходимо изучение как механических, так и физических свойств пород (табл. 12.1).

В отличие от оползневого процесса, в который могут быть вовлечены как скальные, так и рыхлые породы, образование селей связано со смещением только рыхлого материала. Селеобразующий материал может быть представлен скоплением крупных обломков скальных пород, песчано-глинистыми, глинистыми и песчаными породами, хотя чаще в селевых очагах скапливаются породы смешанного состава, содержащие, как крупные включения, так и мелкозем-частицы размером менее 2 мм. Гранулометрический состав селеобразующих пород является их важнейшей характеристикой, позволяющей прогнозировать структурно-реологические особенности селя: при незначительном содержании пылевато-глинистых частиц образуются несвязные сели, а при высоком содержании - связные. Реологические свойства связных селей во многом зависят от минералогического состава глинистой составляющей и от состава обменных катионов, определяющих соотношение в потоке количеств свободной и связной воды.

С гранулометрическим составом селеобразующих пород связан и начальный механизм их сдвижения. В селевых очагах, сложенных песчаными, песчано-глинистыми и крупнообломочными породами с песчаным заполнителем, начальное сдвижение рыхлообломочного материала имеет эрозионный характер. Оползневое зарождение селей свойственно селевым очагам, выполненным породами глинистого состава или крупнообломочными породами с глинистым заполнителем [23] . При эрозионном характере зарождения селей сдвижение селеформирующего материала и его перенос осуществляется водным потоком, поэтому в основе эрозионного механизма селеобразования лежит способность по-

5386

Таблица 12.1

Основные физические и механические свойства пород, определяющие механизм сдвижения при оползневом и селевом процессах

Вид процессов	Механизм сдвижения пород	Литологический состав пород		прочность	ползучесть	объемная масса	влажность	консистенция	набухание	размокаемость	размываемость	гранулометрический состав	минерал. состав	состав обменных катионов
ОПОЛЗНИ	оползни сдвига (скольжения)	скальные		+	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–
		рыхлые	крупнообломочн. с песч.-глин. заполнит.	+	+	+	+	–	–	–	–	+	–	–
			глинистые	+	+	+	+	+	+	+	–	+	–	–
	оползни течения		глинистые, реже крупнообломочн. с глинист. заполнит.	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	смешанные		крупнообл.	+	+	+	+	–	–	–	–	+	+	+
			глинистые	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
СЕЛИ	оползневые	рыхлые	глинистые	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
			песчано-глинистые	–	+	+	+	+	–	+	+	+	–	–
			крупнообл. с глинистым заполнит.	–	+	+	+	+	–	+	+	+	+	+
	эрозионные		песчаные	–	–	+	+	–	–	–	+	+	–	–
			крупнообл. с песчаным заполнит.	–	–	+	+	–	–	–	+	+	–	–

род подвергаться размыванию и размоканию при взаимодействии с водой. Размокаемость является характерной особенностью связных пород, содержащих в своем составе пылевато-глинистые частицы. Несвязные породы размокаемостью не обладают, их водопрочные свойства определяются только размываемостью, которая зависит как от энергии водного потока, так и от свойств селеобразующего материала - его плотности, влажности и гранулометрического состава. Экспериментально установлено [6, 9, 13], что размываемость селеобразующих пород пропорциональна их влажности, но обратно пропорциональна плотности сложения и крупности слагающих их частиц. Из сказанного следует, что при изучении селевых очагов, имеющих эрозионный механизм смещения, важнейшими свойствами пород, определяющими этот механизм, являются гранулометрический состав, влажность, плотность, размываемость и размокаемость пород (табл. 12.1).

Оползневой механизм начального сдвижения селей не имеет принципиального отличия от механизма образования оползней течения, поэтому развитие этого процесса определяется теми же свойствами пород, которые были выделены при описании оползней, т.е. прочностью, ползучестью, плотностью, влажностью, консистенцией и набухаемостью (табл. 12.1). Из анализа механизма образования оползней и селей вытекает общий методический подход к изучению свойств пород, слагающих оползневые склоны и селевые очаги. Он включает в себя определение как показателей механических свойств, в том числе показателей ползучести, так и определение показателей физических свойств, дополненное обязательными сведениями о грансоставе, размываемости и размокаемости пород.

2. Изучение свойств глинистых, песчано-глинистых и скальных пород

Определение показателей физических свойств глинистых, песчано-глинистых и скальных пород, слагающих селевые очаги и оползневые склоны, производится общеизвестными методами. Что же касается показателей прочностных и реологических свойств этих пород, а также их размокаемости и размываемости, то методы их изучения требуют более внимательного рассмотрения.

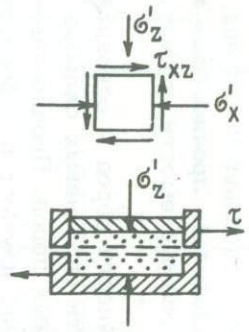
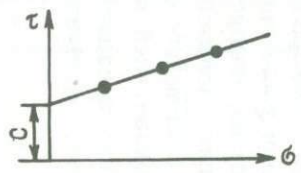
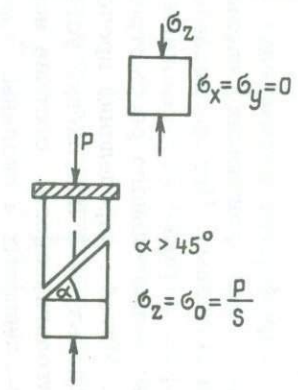
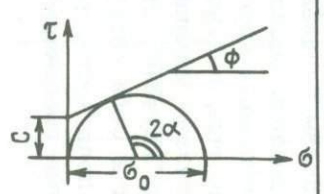
Методы определения предела прочности пород - основной расчетной характеристики, используемой при оценке устойчивости оползневых склонов и селевых очагов, зависят от литологического состава исследуемых пород. Прочностные свойства глинистых, песчано-глинистых и скальных пород обычно изучают в лабораторных условиях, хотя, наряду с лабораторными, эти породы могут быть исследованы и полевыми методами. В табл. 12.2 приведено описание принципиальных схем изучения прочности пород с указанием преимущественной области применения тех или иных методов исследований. Предел прочности рыхлых пород в лабораторных условиях определяют при сдвиговых испытаниях или при трехосном сжатии образцов. При испытании на сдвиг породу помещают в разъемное кольцо, к которому прикладывают нормальную и касательную нагрузки. В процессе испытаний нормальная нагрузка остается постоянной, а касательная увеличивается до тех пор, пока сдвигающее усилие не достигнет критического значения, при котором образец разрушается. Методика проведения сдвиговых испытаний учитывает особенности состава и строения пород: сопротивление сдвигу песков и глин, обладающих структурным сцеплением, определяют при одиночном прямом сдвиге образца, а сопротивление сдвигу скрытопластичных и пластичных глин оценивают по методу повторных сдвигов, направленных на выявление остаточной прочности породы.

При испытании методом трехосного сжатия образец породы цилиндрической формы, покрытый эластичной оболочкой, помещают в камеру, заполненную рабочей жидкостью, и подвергают гидростатическому сжатию. Испытания проводят по схеме, предложенной фон Карманом, согласно которой наибольшее главное напряжение σ_1 прикладывают вдоль оси цилиндрического образца с помощью пресса, а наименьшие главные напряжения $\sigma_2 = \sigma_3$ передают на боковую поверхность образца посредством всестороннего гидростатического давления. После разрушения одного образца опыт повторяют на другом, приняв для него новое отношение σ_1/σ_3. По полученным данным строят круги Мора, с помощью которых определяют показатели прочности пород.

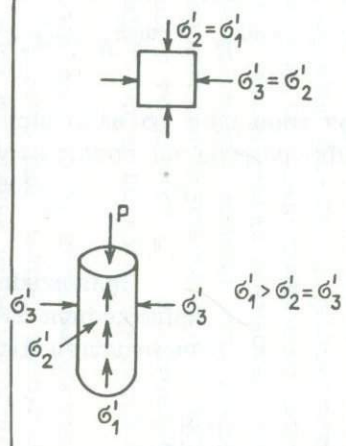
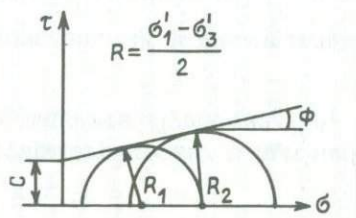
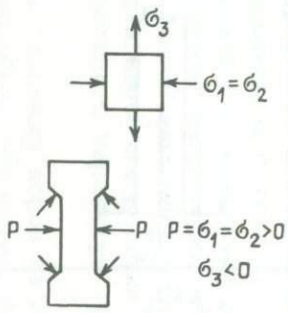
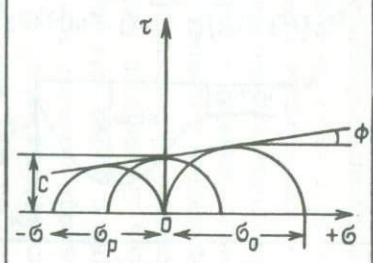
Результаты как сдвиговых, так и трехосных испытаний в большой степени зависят от условий дренирования образца при его нагружении. Если при приложении нормальной наг-

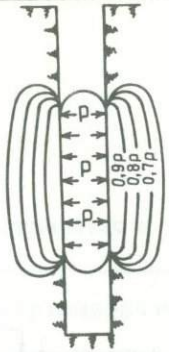
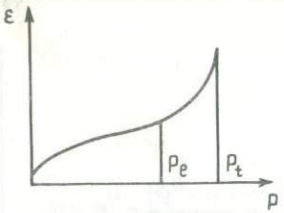
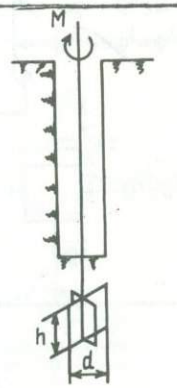
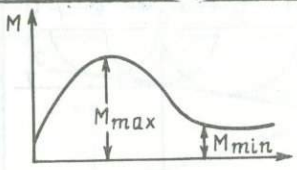
Таблица 12.2

Методы исследования прочности глинистых, песчано-глинистых и скальных пород

Вид испытаний	Название метода	Сущность испытаний	Схема деформирования	График испытаний и расчетные формулы	Область применения метода
1	2	3	4	5	6
Лабораторные	Одноплоскостной сдвиг	Образец помещают в прибор, состоящий из верхней подвижной и нижней неподвижной обойм. Вертикальную нагрузку передают через штамп, касательное напряжение создают горизонтальным усилием, приложенным к подвижной обойме. Опыт повторяют 2–3 раза.		 $\begin{cases}\tau'_1 = \sigma'_1 \cdot tg\,\varphi' + C' \\ \tau'_2 = \sigma'_2\, tg\,\varphi' + C'\end{cases}$	Глинистые, песчано-глинистые породы любой консистенции.
	Одноосное сжатие	Образец цилиндрической формы сжимается вертикальной нагрузкой в условиях свободного бокового расширения.		 $\varphi_u = 2\alpha - 90^\circ$ $C_u = \frac{\sigma_0}{2}\left(\frac{1-\sin\varphi}{\cos\varphi}\right)$ Для пластичных глин $C_u = \frac{\sigma_0}{2} = \tau_{Su}$	Скальные и полускальные породы; глинистые и песчано-глинистые породы любой консистенции, кроме текучей.

Продолжение табл. 12.2

1	2	3	4	5	6
Лабораторные	Трехосное сжатие	Образец цилиндрической формы подвергается гидростатическому сжатию и возрастающей вертикальной нагрузкой доводится до разрушения. Опыт повторяют 2–3 раза.		 Для сыпучих грунтов $\sin\varphi' = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma'_1 + \sigma'_3}$ Для связных грунтов $\sin\varphi' = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma'_1 + \sigma'_2 + 2C'ctg\,\varphi'}$	Полускальные, глинистые, песчаные, песчано-глинистые породы любой консистенции, исключая текучую.
	Сжатие-растяжение	Образец в форме катушки подвергается гидростатическому сжатию. В центральной части катушки возникают сжимающие напряжения, в торцовых частях – растягивающие.		 $C_u = \frac{\sigma_0}{2}\sqrt{\frac{\sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_0}}$ $\sin\Phi_u = \frac{(\sigma_0 - \sigma_1) + \sigma_3}{(\sigma_0 - \sigma_1) - \sigma_3}$	Глинистые породы от твердой до мягкопластичной консистенции.

1	2	3	4	5	6
Полевые	Прессиометрия	Измерение деформаций грунта в стенках скважины, возникающих под действием давления P, приложенного на ограниченном участке ее длины.		 $C_u = \frac{p_e}{2} n_c \operatorname{tg}(45 - \Phi_u/2)$ $\sin \Phi_u = \frac{(1-\xi)\frac{p_t}{p_e} - n_c}{(1+\xi)\frac{p_t}{p_e} - n_c}$	Крупнообломочные породы с содержанием включений до 35% при песчаном, глинистом и песчано-глинистом составе заполнителя.
	Вращательный срез	Измерение крутящего момента M и угла поворота α крестообразного наконечника, помещенного ниже забоя скважины.		 $C_u = [(m_\alpha - 1) + (1-L)(1-\operatorname{tg}\Phi_u)]\tau_{s_u}$ $\operatorname{tg}\Phi_u = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 + 4A}}{2A}$ $A = \frac{-0{,}5 p_B}{\tau_{min}} + 2;\ B = \frac{p_B}{\tau_{min}} - 1$	Породы с содержанием включений не свыше 20–25% при любом составе заполнителя.

Обозначения:

τ_s; τ_{s_u} – прочность на сдвиг в эффективных и в полных напряжениях;
C' и Φ' – параметры прочности в условиях эффективных напряжений;
C_u и Φ_u – параметры прочности в условиях полных напряжений;
P – вертикальная нагрузка на образец;
S – площадь поперечного сечения образца;
q_0 – временное сопротивление одноосному сжатию;
P_e; P_t – предел пропорциональности и предел прочности пород на графике прессиометрических испытаний;
n_c – табличный коэффициент, принимаемый в зависимости от величины коэффициента Пуассона ($n_c = 0{,}5 \div 0{,}65$);
ξ – коэффициент бокового давления;
L – показатель структурной прочности $L = \frac{M_{min}}{M_{max}}$, где M_{min} и M_{max} – минимальный и максимальный крутящие моменты;
m_a – поправочный коэффициент, зависящий от угла поворота крыльчатки при срезе грунта (α_p) и от показателя его структурной прочности L;
P_B – природное вертикальное давление;
ε – относительная деформация.

рузки вода из образца не удаляется или удаляется лишь частично, то не вся нормальная нагрузка передается на скелет породы, часть ее расходуется на создание порового давления. В этом случае сдвигающее усилие, вызывающее разрушение образца, будет пропорционально не полной σ, а эффективной нагрузке σ', определяемой разностью между полным напряжением и поровым давлением $\sigma' = (\sigma - u)$. Прочность пород в эффективных напряжениях выражается формулой:

$$\tau_s = C' + \sigma' \operatorname{tg} \varphi' = C' + (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi',$$

где: C' и φ' – параметры прочности в эффективных напряжениях.

По характеру дренирования образца в процессе опыта различают следующие виды испытаний: консолидированно-дренированные или медленные испытания, консолидированно-недренированные, называемые также быстроконсолидированными испытаниями, и неконсолидированно-недренированные испытания, называемые недренированными или быстрыми испытаниями. При консолидированно-дренированных испытаниях избыточное поровое давление равно нулю, при консолидированно-недренированных испытаниях, когда влажность грунта в процессе опыта не изменяется, избыточное поровое давление может быть как положительным, так и отрицательным. Что же касается неконсолидированно-недренированных испытаний, то при проведении их поровое давление остается неизвестным, поэтому все расчеты показателей прочности выполняют по полному напряжению.

Для исследования прочности скальных и глинистых пород в лабораторных условиях широко применяется метод одноосного сжатия, при котором образец цилиндрической формы с отношением диаметра к длине, равным 1:2, подвергается сжатию вертикальной нагрузкой в условиях свободного бокового расширения. При последовательном увеличении нагрузки образец доводят до разрушения и определяют его прочность на одноосное сжатие. Прочность на сдвиг принимают равной половине прочности на одноосное сжатие. Поскольку при исследований глинистых пород происходит изменение формы образца, то при испытании фиксируют площадь его сечения в момент разрушения, относя затем к ней величину разрушающего усилия. Если в процессе опыта замерить угол наклона площади скольжения к горизонту, то, пользуясь этой величиной и пределом прочности, можно построить круг Мора, по которому нетрудно определить параметры прочности пород C и φ [12].

Наиболее известным методом исследования скальных пород на одноосное растяжение является "бразильский" метод, заслуживший всеобщее признание, благодаря своей доступности. При испытании этим методом образец породы в виде круглого диска сжимают по диаметру линейно-распределенными нагрузками до его разрушения. Согласно теории упругости, при таком сжатии образца напряжения, действующие в направлении, нормальном к направлению приложения нагрузки σ_y, являются растягивающими. Прочность пород на растяжение определяется по формуле:

$$\sigma_y = \frac{P}{r_0 \cdot h \cdot \pi},$$

где P – нагрузка, r_0 – радиус образца, h – толщина (высота) образца.

Помимо широко распространенных сдвиговых, одноосных и трехосных испытаний, в СССР разработан и применяется новый метод определения прочности пород, при котором образец испытывает одновременно сжимающие и растягивающие напряжения [15]. Такое напряженное состояние создается при гидростатическом сжатии образцов специальной формы – в виде катушки. При гидростатическом сжатии образца такой формы в его средней части возникают различные по знаку напряжения: с боковой поверхности – сжимающие, равные по величине гидростатическому давлению, по направлению к торцам – растягивающие. Появление растягивающих напряжений объясняется разложением давления, приложенного к наклонной поверхности катушки, на две составляющие, одна из которых вызывает растягивающие, а другая сжимающие напряжения. Поскольку величина растягивающих напряжений является функцией отношения площадей сечения катушки в их торцевой и центральной частях, то варьируя этим отношением, можно получить в образце любые сжимающие и растягивающие напряжения, вплоть до условия чистого сдвига, при котором $\sigma_{сж} = \sigma_{раст.}$. Проведение нескольких испытаний при различном соотношении $\sigma_{сж.}$

5386

и $\sigma_{раст}$ позволяет построить огибающую кругов Мора не только в области сжимающих, но и в области растягивающих напряжений.

Кроме лабораторных методов определения предела прочности пород, в практике инженерных изысканий широко применяются и полевые методы, среди которых особое место занимают прессиометрия и вращательный срез. Эти методы отличает высокая информативность и простота исполнения, что позволяет рекомендовать их для изучения таких геологических процессов, как оползни и сели. Что же касается статического и динамического зондирования, то эти методы не имеют достаточно полного теоретического обоснования, которое позволило бы установить функциональную зависимость между показателями зондирования и прочностью исследуемых пород. Это обстоятельство сужает область их применения и позволяет рекомендовать их лишь для качественного расчленения изучаемых геологических разрезов.

Прессиометрические испытания пород проводят в буровых скважинах малого диаметра. Суть их заключается в нагружении стенок скважины возрастающим давлением, равномерно распределенным на участке ограниченной длины. Давление на породу передается с помощью специального прибора – прессиометра; этим же прибором измеряют деформации пород в зоне влияния прессиометра. Интерпретация данных прессиометрических испытаний позволяет оценивать как несущую способность пород [34, 33, 27, 25, 31], так и показатели их прочности и сжимаемости [5, 1, 14, 18, 19].

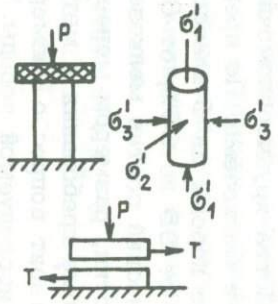
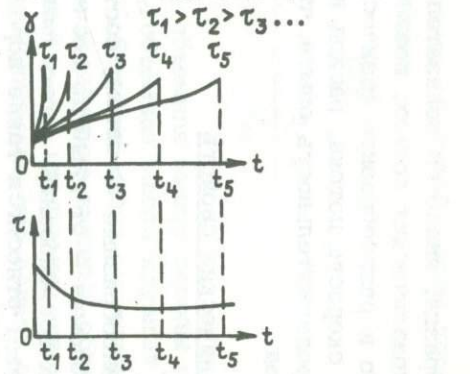
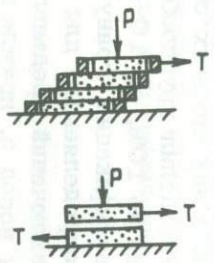
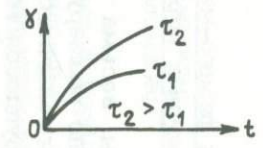
Наряду с методом прессиометрии для определения предела прочности пород в скважинах широко используют метод вращательного среза. Сущность этого метода заключается в срезе некоторого объема породы по цилиндрической поверхности путем поворота пластинчатого крестообразного наконечника, установленного ниже забоя скважины. Традиционно метод вращательного среза применяют при исследовании прочности глинистых пород текучей и мягкопластичной консистенции [28, 32, 19]. Однако новые теоретические разработки, выполненные в Советском Союзе [5], позволяют использовать его для определения показателей прочности песчано-глинистых, песчаных и щебнисто-глинистых пород любой консистенции.

Помимо предела прочности τ_s, другой важной характеристикой пород, слагающих оползневые склоны и селевые очаги, является характеристика их ползучести, т.е. установление тех сдвигающих напряжений, превышение которых вызывает деформирование пород с затухающей, постоянной или возрастающей скоростью. Для объяснения длительного неупругого поведения пород разработано несколько механических моделей (Бингама-Шведова, Максвелла, Ньютона и др.), в которых на первичное упругое поведение материала накладывается реакция вязкой жидкости. Объяснению реологических свойств пород с позиций физической химии посвящены работы Л.И. Кульчицкого [8], рассматривающего деформационное поведение водонасыщенных глинистых пород с точки зрения контактного взаимодействия частиц. Однако существующие механические и физико-химические модели недостаточны для описания наблюдаемого в природе поведения пород под нагрузкой, поэтому в последние годы широкое развитие получили экспериментальные исследования, устанавливающие зависимость между деформациями, напряжениями и временем их приложения с последующим выбором уравнения состояния исследуемых пород. Наиболее известны в этом направлении в Советском Союзе работы С.С. Вялова, Н.Н. Маслова, С.Р. Месчяна, М.Н. Гольдштейна, Г.И. Тер-Степаняна, А.Я. Будина [3, 10, 11, 4, 16, 2]. Испытания пород на ползучесть проводят в лабораторных условиях обычно на приборах одноплоскостного или многоплоскостного сдвига, хотя не исключена принципиальная возможность определения этих показателей и на приборах одноосного или трехосного сжатия. Эти испытания проводят или с серией образцов, к каждому из которых прикладывают постоянную, но различную для каждого образца нагрузку, или на одном образце, который загружают нагрузкой, увеличивающейся ступенями, выдерживаемыми до стабилизации деформаций. В результате таких испытаний строят семейство кривых, интерпретация которых позволяет установить показатели ползучести пород: начальный порог ползучести $\tau_{пор.}$, порог установившейся ползучести $\tau_{уст.}$, предел длительной прочности $\tau_{дл.}$, коэффициент вязкости в период установившейся и неустановившейся ползучести. Принципиальные схемы реологических испытаний пород приведены в табл. 12.3.

Размываемость и размокаемость песчано-глинистых и глинистых пород устанавливают в лабораторных условиях. Для определения размокаемости образец породы размером 2 × 2 × 2 см помещают в сосуд с водой и наблюдают за его деформированием. Промежу-

Таблица 12.3

Методы определения ползучести глинистых пород

Название метода	Сущность испытаний	Схема деформирования	Графики испытаний
Испытание постоянными нагрузками	Серию образцов-близнецов, испытываемых одним из методов определения прочности грунтов, доводят до разрушения, загружая постоянными нагрузками, величина каждой из которых составляет ту или иную часть условно-мгновенной прочности породы.		
Испытания при ступенчатом нагружении грунта возрастающими нагрузками	Серию образцов-близнецов испытывают в сдвиговом приборе одноплоскостного или многоплоскостного сдвига, проводя для каждой пары образцов два опыта при различных сдвигающих нагрузках τ_1 и τ_2, но при одинаковой нормальной нагрузке $P = \text{const}$.		 $\tau_{пор.} = \frac{V_2^0 \tau_1 - V_1^0 \tau_2}{V_2^0 - V_1^0}$ $\tau_{уст.} = \tau_{пор.} + \tau_I = \tau_{пор.} + \frac{V_2^{уст.} \tau_1 - V_1^{уст.} \tau_2}{V_2^{уст.} - V_1^{уст.}}$ $\tau_{дл.} = \tau_{уст.} + \tau_{II}$; $\eta = \frac{\tau - \tau_{пор.} - \tau_I}{V^{уст.}}$

Обозначения:

τ – сдвигающая нагрузка;
t – время разрушения образца;
γ – сдвиговая деформация;
$\tau_{пор.}$ – начальный порог ползучести;
$\tau_{уст.}$ – порог установившейся ползучести;
$\tau_{дл.}$ – длительная прочность грунта;
τ_I – минимальная дополнительная сдвигающая нагрузка, при которой возникает установившаяся ползучесть;
τ_{II} – минимальная дополнительная сдвигающая нагрузка, при которой возникает прогрессирующая ползучесть;
V_1, V_2 – скорость деформирования грунта под действием сдвигающих нагрузок τ_1 и τ_2;
η – коэффициент вязкости.

ток времени, через который произойдет разрушение образца, является показателем его размокаемости. Размываемость пород исследуют в гидравлических лотках, позволяющих моделировать не только различные скорости потока, но и разнообразное физическое состояние исследуемых пород. Во время опыта фиксируют скорость потока, расход воды, глубину размыва, размер перемещающихся частиц и продолжительность опыта, что позволяет определять все показатели размываемости пород.

3. Особенности изучения физико-механических свойств крупнообломочных пород

К крупнообломочным относятся породы, весьма разнообразные по своему составу, которые могут включать в себя различные по размеру обломки – от глыб до песчаных и глинистых частиц. В практике инженерно-геологических исследований, проводимых в Советском Союзе, принято считать, что к крупнообломочным относятся такие породы, в составе которых, наряду с глинистыми и песчаными частицами, содержатся частицы размером более 2 мм. Теоретические и методические основы изучения этих пород разработаны А.И. Шеко [21,22,23], который установил, что свойства крупнообломочных пород зависят от весового соотношения в них крупных обломков и мелкозема. По предельному содержанию обломков А.И. Шеко разделил крупнообломочные породы на 5 классов: породы с содержанием крупных включений до 10%, от 10 до 35%, от 35 до 65%, от 65 до 90% и более 90%. Согласно этой классификации, гранулометрический состав мелкозема учитывается числом пластичности, определяемым для всех частиц, размером менее 2 мм. Содержание в породах крупных включений предъявляет особые требования к методике изучения свойств крупнообломочных пород и, прежде всего, ставит вопрос о размерах монолитов, обеспечивающих достоверное суждение о свойствах исследуемой породы. Теоретически минимальный объем пробы крупнообломочных пород определяется расстоянием между центрами наиболее крупных обломков. Следовательно, чем крупнее обломки, тем больше должен быть объем пробы. Однако, если учесть сложность отбора и транспортировки монолитов большого размера, особенно в горных условиях, то станет понятным стремление исследователей к изучению свойств крупнообломочных пород в естественном залегании. Вместе с тем, согласно исследованиям А.И. Шеко [22], свойства крупнообломочной породы определяются свойствами и весовым соотношением ее основных компонентов – крупных обломков и мелкозема. Это обстоятельство приводит к тому, что методика изучения крупнообломочных пород развивается в двух направлениях – по линии испытаний крупнообломочных пород в массиве и по линии лабораторного изучения свойств основных компонентов крупнообломочной породы – мелкозема и крупных обломков. Своеобразным ответвлением от второго направления явилась разработанная Е.А. Толстых [17] система расчетных связей между отдельными показателями физических свойств крупнообломочных пород, позволяющая по нескольким экспериментально определенным показателям рассчитать фазовый состав крупнообломочной породы.

Согласно общей схеме изучения свойств пород, слагающих селевые очаги и оползневые склоны (табл. 12.1), физико-механические свойства крупнообломочных пород должны быть охарактеризованы такими показателями, как показатели грансостава, влажности, объемной массы, размываемости, прочности, ползучести. Рассмотрим особенности их определения в крупнообломочных породах.

Определение объемной массы. Объемную массу крупнообломочных пород в массиве можно определить экспериментально, либо расчетом. При экспериментальном определении этого показателя наибольшее распространение получили объемные и геофизические методы исследования.

При объемном методе валовую пробу породы взвешивают и замеряют объем, который она занимала в массиве. Взвешивание пробы породы не представляет труда, более сложным является определение объема породы. Для этого либо откапывают шурф со строго вертикальными стенками, либо заполняют выработку сухим песком, объем которого известен. Объемную массу породы определяют как отношение веса породы к объему засыпанного песка. Измерение объемной массы крупнообломочных пород в массиве возможно также с помощью геофизических методов, основанных на ядерном излучении. Особенно широко применяется гамма-метод, при котором плотность породы определяют либо по поглощению гамма-лучей, либо путем измерения рассеянного породой гамма-излучения.

Для расчета объемной массы пород, содержащих крупные обломки, А.И. Шеко предложил выражение:

$$\Delta = \frac{100}{\frac{a}{\Delta_К} + \frac{100 - a}{\Delta_М}},$$

где Δ – объемная масса породы в массиве;
$\Delta_К$ – объемная масса крупных обломков;
$\Delta_М$ – объемная масса мелкозема;
a – содержание крупных обломков в породе в % по весу.

Расчетный метод предусматривает раздельное определение объемной массы крупных обломков и мелкозема, что делает определение этого показателя в лабораторных условиях менее трудоемким, чем определение объемной массы породы в массиве.

Определение влажности. Согласно представлениям А.И. Шеко [20], влажность крупнообломочной породы складывается из того количества свободной воды, которое содержится в мелкоземе, в крупных обломках и в пустотах, образовавшихся между крупными обломками. Такой подход предполагает возможность раздельного лабораторного изучения влажности мелкозема и крупных обломков и установление расчетным путем влажности породы в целом:

$$W = \frac{W_М(100 - a) + W_К \cdot a}{100},$$

где W – влажность крупнообломочной породы;
$W_М$ – влажность мелкозема;
$W_К$ – средневзвешенная влажность крупных обломков;
a – содержание в породе частиц размером более 2 мм в % к весу.

Влажность крупнообломочных пород в массиве может быть определена геофизическими методами, в частности, с помощью нейтрон-нейтронного каротажа. Существующие конструкции влагомеров позволяют производить измерение влажности как с поверхности, так и в горных выработках на глубину до 15 м.

Определение гранулометрического состава. Гранулометрический анализ крупнообломочных пород разделяется на несколько этапов: фотографирование породы, грохочение, ситовой анализ и анализ пылеватых и глинистых частиц. Крупные фракции (более 20 мм) разделяют в поле, мелкие – в лабораторных условиях. Содержание в породе крупных обломков размером более 200 мм определяют с помощью фотометода. Методика выполнения этого анализа включает в себя фотографирование стенки горной выработки или расчистки площадью 1×1 м с последующим подсчетом на фотоснимке площади, занимаемой обломками размером более 200 мм. Грохочение валовой пробы пород проводят для выделения фракций от 200 до 20 мм. Комплект грохотов должен обеспечивать разделение валовой пробы весом до 200 кг. Выделенные грохочением фракции оставляют на воздухе, высушивают до воздушно-сухого состояния, а затем взвешивают. Фракцию менее 20 мм квартуют и отбирают из нее навеску 1,5 – 3,0 кг, которую разделяют при помощи ситового способа. Пылеватые и глинистые частицы, прошедшие через набор сит, исследуют при помощи ареометрического метода или метода пипетки.

Определение водопрочности. Водопрочность пород характеризуется двумя показателями: размокаемостью и размываемостью. Для изучения размокаемости крупнообломочных пород образец размером 10×10×10 см помещают в емкость, заполненную водой, и наблюдают за его деформированием во времени. Характеристикой размокаемости служит время, в течение которого образец теряет первоначальную форму. Размываемость пород, так же, как и размокаемость, определяется экспериментально в гидравлических лотках или на природных склонах. Размеры лотка определяются крупностью обломочного материала: ширина лотка должна быть в 5–6 раз больше среднего диаметра наиболее крупных обломков, а длина лотка – в 10–12 раз больше его ширины. Исследуемый грунт укладывают в лоток при послойном уплотнении, соблюдая следующие требования к проведению

модельных испытаний: а) распределение обломочного материала в лотке должно быть таким же, как в естественном залегании; б) влажность и объемная масса породы в лотке должны соответствовать естественным. Скорость потока регулируют расходом воды или уклоном лотка [7].

Во время опыта фиксируют те же параметры, что и при изучении размываемости глинистых пород – скорость потока, расход воды, глубину размыва, размер обломков, перемещающихся при данной скорости потока, продолжительность опыта. Используя эти параметры, определяют показатели размываемости пород: 1) глубину размыва до образования отмостки при разных значениях скорости размывающего потока; 2) критические скорости потока, соответствующие началу вымыва заполнителя и переносу обломков всех размеров без образования отмостков; 3) интенсивность размыва – отношение глубины размыва ко времени размыва; 4) полную энергию потока, необходимую для размыва единицы объема породы [7].

Методика изучения размываемости пород на природных склонах та же, что и при лабораторных исследованиях, с той лишь разницей, что модельные испытания выполняют в естественных условиях, используя для этого специально построенную систему, состоящую из подводящего канала, резервуара со сливом и пионерного русла.

Определение прочности. Прочность крупнообломочных пород определяют в натурных условиях, применяя для этого полевые методы исследования. В подавляющем большинстве эти методы предназначены для изучения прочности пород в шурфах и лишь при невысоком содержании крупных обломков возможно изучение прочностных свойств пород в скважинах. Лабораторные методы определения прочности применяют только при исследовании искусственных смесей с целью выявления общих закономерностей формирования прочности крупнообломочных пород. Методы определения прочности крупнообломочных пород в шурфах включают в себя методы раздавливания целиков, выпирания призм, обрушения целиков и испытания целиков на срез. Принципиальные схемы этих испытаний и расчетные формулы для каждого из них приведены в табл. 12.4.

Изучение прочности крупнообломочных пород в скважинах выполняют с помощью методов прессиометрии и вращательного среза. Идейная сторона этих методов была рассмотрена в первом разделе и применительно к крупнообломочным породам остается неизменной. Ограничением к применению прессиометрии служит высокое содержание крупных обломков (свыше 35%), при котором прочность резко возрастает и исследование ее с помощью прессиометров становится технически невозможным. Другим ограничением к применению прессиометрии является песчаный состав мелкозема, поскольку в этих условиях нарушается устойчивость стенок скважин. Метод вращательного среза может быть широко использован для исследования прочности крупнообломочных пород при любом составе заполнителя, но имеет ограничения по содержанию в породе обломков (до 35%).

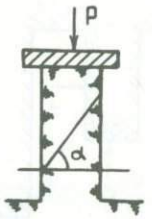
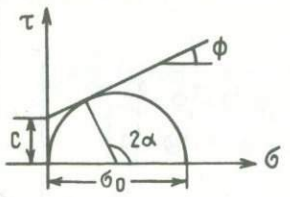
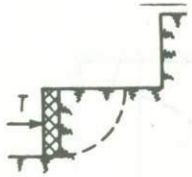
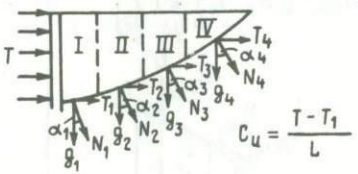
Определение прочности крупнообломочных пород может быть выполнено не только на основе экспериментальных данных, но и с помощью, так называемых, методов обратных расчетов, впервые предложенных в 1958 г. К.Терцаги и Р. Пеком [35]. Сущность метода состоит в построении наблюдаемого профиля оползня и восстановления по нему первоначального рельефа склона, предшествовавшего оползанию. Это выполняется путем подбора радиуса окружности, наиболее полно описывающей наблюдаемую поверхность смещения, и путем решения уравнения, обеспечивающего равенство моментов всех сил относительно центра окружности. В уравнение входит вес частей оползня, создающих сдвигающие и реактивные усилия, радиус поверхности скольжения, плечи сил относительно оси вращения оползня, среднее сопротивление пород сдвигу.

Определение ползучести. Ползучесть крупнообломочных пород определяют в крупногабаритных приборах многоплоскостного сдвига, установленных в шурфах. При проведении испытаний целик породы заключают в обойму, набранную из жестких и эластичных колец. Обжимающую нагрузку передают через штамп, горизонтальное усилие прикладывают к верхнему кольцу обоймы и наблюдают за скашиванием целика.

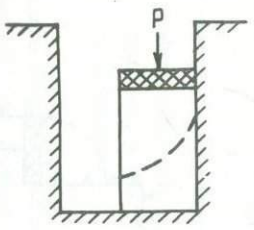
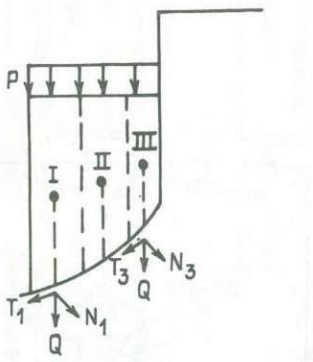
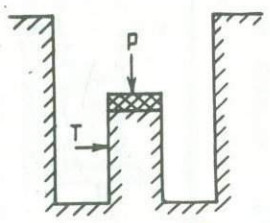
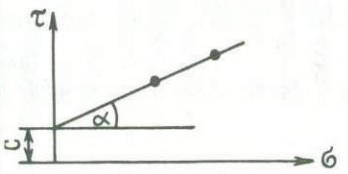
Методика полевого изучения реологических свойств крупнообломочных пород, разработанная в Советском Союзе, включает в себя комплекс исследований, состоящий из стандартных сдвиговых испытаний, проводимых по методике быстрого сдвига, и специальных реологических исследований, выполненных на трех парах образцов при трех различных вертикальных нагрузках, которые отвечают условиям проведения стандартных ис-

Таблица 12.4

Методы определения прочности крупнообломочных пород в шурфах

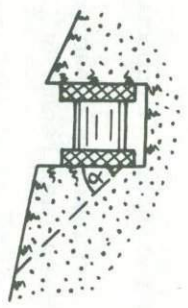
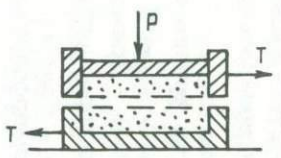
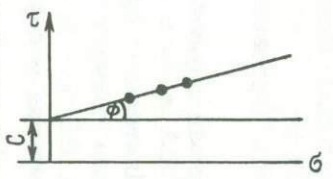
Название метода	Сущность испытаний	Схема действий	График испытаний и расчетные формулы	Область применения
1	2	3	4	5
Раздавливание целиков пород	Раздавливание целика возрастающей вертикальной нагрузкой в условиях свободного бокового расширения		 $\tau = \frac{P}{2S}$ *Для хрупко-пластичного разрушения* $\varphi_u = 2\alpha - 90°;\ C_u = \frac{P}{2S} \cdot \frac{1}{tg(45 + \varphi_u/2)}$ *При пластическом разрушении* $C_u = \tau_{su}$	Крупнообломочные породы с содержанием обломков не более 35% при заполнителе глинистого и песчано-глинистого состава; глинистые породы
Выпирание призмы породы в шурфе	Под действием горизонтальной нагрузки T происходит выпирание призмы грунта, предварительно отделенной от основного массива боковыми прорезями		 $C_u = \frac{T - T_1}{L}$ $tg\,\varphi_u = \frac{\frac{T}{\sigma}\sum_{i=1}^{n} g_i \cos\alpha_i - \sum_{i=1}^{n} g_i \sin\alpha_i}{\frac{T}{\sigma}\sum_{i=1}^{n}(g_i \sin\alpha_i + \sum_{i=1}^{n} g_i \cos\alpha_i) + T - T_i}$	Крупнообломочные породы с содержанием крупных обломков до 65% при глинистом составе заполнителя

Продолжение табл. 12.4

1	2	3	4	5
Обрушение целиков	Испытания заключаются в последовательном обрушении двух целиков породы, прислоненных к стенке шурфа		 $\begin{cases} \sum_{i=1}^{n} T = \sum_{i=1}^{n} N \cdot tg\,\Phi_u + C_u \cdot A_1 \\ \sum_{i=1}^{n} T = \sum_{i=1}^{n} N \cdot tg\,\Phi_u + C_u \cdot A_2 \end{cases}$	Обломочные породы с содержанием крупных обломков до 65% при глинистом составе заполнителя
Сдвиг целиков	Целики породы сдвигают при разных вертикальных нагрузках и строят диаграмму сдвига		 $\begin{cases} \tau_1' = \sigma_1' \cdot tg\,\Phi' + C' \\ \tau_2' = \sigma_2' \cdot tg\,\Phi' + C' \end{cases}$	Крупнообломочные породы с содержанием включений до 65% при любом литологическом составе заполнителя

5386

Окончание табл. 12.4

1	2	3	4	5
Обрушение и сдвиг призм пород	Разрушению подвергаются призмы грунта, оконтуренные под заданным углом. Для проведения испытаний в породе делают прорезь, в которую вкладывают плоский домкрат. После обрушения призмы отбирают образцы для определения в лабораторных условиях угла внутреннего трения.		$C_u = \frac{P}{S}(\sin\alpha - \cos\alpha \cdot tg\,\Phi_u)$	Крупнообломочные породы с содержанием обломков до 35%; заполнитель – глинистых
Срез монолитов в полевых приборах	Образец породы помещают в обойму, состоящую из подвижной и неподвижной частей. Прикладывают нормальное давление и сдвигающее усилие, вызывающее срез монолита. Испытания проводят при трех различных вертикальных нагрузках.		 $\begin{cases} \tau_1' = \sigma_1' \, tg\,\Phi' + C' \\ \tau_2' = \sigma_2' \cdot tg\,\Phi' + C' \end{cases}$	Породы с содержанием обломков до 35% при песчано-глинистом заполнителе.

Обозначения:

T – сдвигающее усилие;

T_1 – усилие перемещения призмы;

L – длина дуги поверхности скольжения;

G – вес призмы; $G = \sum_{i=1}^{n} g_i$, где g_i – вес выделенных блоков;

N – нормальное давление;

Остальные обозначения те же, что в табл. 12.2.

пытаний. Горизонтальные усилия прикладывают к каждой паре образцов ступенями, причем начальная ступень нагрузки для первого образца в два раза меньше начальной ступени нагрузки для второго образца и равна 1/10 максимального сдвигающего усилия, зафиксированного при стандартных сдвиговых испытаниях. Переход от одной ступени нагрузки к другой осуществляют после стабилизации деформаций. В результате таких испытаний в координатах "сдвиговая деформация" – "время" строят семейство кривых ползучести, интерпретация которых позволяет установить показатели ползучести пород: начальный порог ползучести $\tau_{пор.}$; предел длительной прочности $\tau_{дл.}$ и коэффициент вязкости в период неустановившейся и установившейся ползучести η . Обработка экспериментальных данных, полученных при полевых испытаниях, не отличается от обработки экспериментальных данных, полученных при лабораторных исследованиях глинистых пород.

Метод применим в породах с содержанием крупных обломков до 65% при глинистом составе заполнителя.

Литература

1. Бондарик Г.К., Комаров И.С., Ферронский В.И. Полевые методы инженерно-геологических исследований. М.: Недра., 1967, 371 с.
2. Будин А.Я. Эксплуатация и долговечность портовых сооружений. М.: Транспорт, 1971, 229 с.
3. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высшая школа, 1978, 446 с.
4. Гольдштейн М.Н., Тер-Степанян Т.И. Длительная прочность глин и глубинная ползучесть склонов. Материалы к IV международн. конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению, М.: Изд-во АН СССР, 1960, 358с.
5. Корчагин Г.П., Коренева С.Л. Прессиометрия и вращательный срез в инженерной геологии. М.: Недра, 1976, 182 с.
6. Круподеров В.С. Показатели размываемости неоднородных щебнисто-глинистых пород. "Вопросы геологии, геохимии и геофизики при поисках месторожд. полезн. ископаемых." М.: Изд-во МГУ, 1974, с. 144-157
7. Круподеров В.С. Изучение размываемости крупнообломочных пород. "Вопросы инж. геодинамики", ВСЕГИНГЕО, 1975, вып. 105, с. 57-64
8. Кульчицкий Л.И., Усьяров О.Г., Ищук А.Р. Временная зависимость сдвиговой прочности водонасыщенных глин и вопросы микрореологии. "Инженерная геология", 1979, № 6, с. 69-84
9. Леонтьев О.К., Рычагов Г.И. Общая геоморфология. М.: Высшая школа, 1979, 274 с.
10. Маслов Н.Н. Реологические свойства и длительная прочность глинистых грунтов. Материалы совещан. по вопр. изучен. оползней и мер борьбы с ними. Киев: Изд-во Киевск. ун-та, 1964, с. 53-61
11. Месчян С.Р. Начальная и длительная прочность глинистых грунтов. М.: Недра, 1978, 207 с.
12. Одинцова Л.И., Воробьев Е.А. и др. Методические рекомендации по испытанию глинистых пород методами одноосного сжатия и сжатия-растяжения. М.: ВСЕГИНГЕО, 1977, 73 с.
13. Пушкаренко В.П. Обобщающая характеристика физико-механических свойств горных пород в селевых очагах Средней Азии. "Материалы XVI Всесоюзн. науч.-тех. конф. по методам расчета и прогноза селев. потоков. М.: Гидрометеоиздат, 1981, с. 150-159
14. Рупеннейт К.В., Бронтштейн М.И. Определение деформативных и прочностных характеристик грунта из дилатометрических испытаний. "Основания, фундаменты и механика грунтов", М.: 1971, № 5, с. 7-11
15. Тер-Мартиросян З.Г., Воробьев Е.А., Соколова Е.А. Испытание связных грунтов в условиях сжатия-растяжения. "Соврем. методы иссл-ний в гидрогеологии и инж. геологии". М.: ВСЕГИНГЕО, 1970, с. 154-161
16. Тер-Степанян Г.И. Новые методы изучения оползней. Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1978, 151 с.
17. Толстых Е.А. Расчетные связи показателей инженерно-геологических свойств

крупнообломочных пород. "Соврем. методы изучен. физ.-мех. свойств горн. пород". М.: ВСЕГИНГЕО, 1972, с. 21-27

18. Трофименко Ю.Г. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов. М.: Стройиздат, 1981, 211 с.

19. Трофименко Ю.Г. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов. М.; Стройиздат, 1981, 24 с.

20. Чуринов М.В., Шеко А.И. Методическое руководство по комплексному изучению селей. М.: Недра, 1971, 159 с.

21. Шейдеггер А.Е. Физические аспекты природных катастроф. М.: Недра, 1981, 319 с.

22. Шеко А.И. Классификация щебнисто-глинистых пород по гранулометрическому составу. Труды совещ. по инж.-геол. свойствам горн. пород и методам их изучения. М.: 1957, 119 с.

23. Шеко А.И. Особенности лабораторного изучения горных пород, содержащих крупнообломочный материал. Материалы IX совещ. работников лабораторий геол. организаций, вып. 12, М., 1965, 213 с.

24. Шеко А.И. Методические основы изучения физико-механических свойств горных пород, вовлекаемых в селевой процесс. Материалы XVI Всесоюзн. науч.-техн. конф. по методам расчета и прогноза селев. потоков. М.: Гидрометеоиздат, 1981, с. 150-159

25. Al-Awatki Z. On problems of Soil Bearing Capacity at Depth.Ph.D. Duke University, USA, 1975.

26. Amar S., Bagnelin F., Jezeguel I.F. In situ shear resistance of clays. Proc. of the Conf. in situ measurement of Soil properties. ASCE Raleigh. vol.1, 1975,pp.22-45

27. Bagnelin F., Jezegnel I.F. Etude des pression interstitielles développées lors de léssai pressiométrique. Proc. of the 8 th I.C.S.M.F.E. Moscou, 1973, vol. 1.1, pp.19-24

28. Bjerrum L. Embankments on soft ground, State of the Art. Proc. of the ASCE Specialty Conf. on Performance on Earth and Earth-Supported Structures, Purdue University, Indiana, vol.11, 1972, pp.1-54.

29. Bishop A.W. and Bjerrum L. Publ. Nar.Geotek.Inst. Oslo 1961, 34 : 1

30. Bishop A.W. Teknisk Ukeblad, 1959,106 : 39

31. Gibson R.E., Anderson W.F. In situ measurement of soil properties with the pressuremeter. Civ. Eng. Publ. W.K.S., Rev. 56, № 658, pp. 615-618.

32. Ladd C.C. Discussion of Dr. Bjerrum's state of the Art report. Proc. of the 8th I.C.S.M.F.E. Moscow, 1973,vol.4. 2, p. 108-114

33. Menard L. Calcul de la force portante des fondations sur la base des résultats pressiométriques. Sols-Soils, Paris, vol. 2, № 5,1962, p.9-24

34. Schlosser F. Développement récent dans le domaine des essais en place. Bull. de Laison des Laboratoires des ponts et chaussées. 1977, p.11-39

35. Terzaghi K., Peck W. Soil Mechanics in Engineering Practice, Wiley N.-Y., 1949, № 1, 521 p.

5386

ЧАСТЬ III

ПРОГНОЗ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ И ЗАЩИТА ОТ НИХ

Глава 13

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОГНОЗОВ

Краткая характеристика современного состояния теории и методов прогноза инженерно-геологических условий дана в работе И.В.Попова, Г.К.Бондарика и Л.Б.Розовского [4]. В этой же работе авторы определили само понятие прогноза в инженерной геологии, под которым понимается предсказание динамики и характера изменений инженерно-геологических условий территории в пространстве или в течение некоторого периода времени, в особенности предсказания формы, масштабов, скорости современных геологических процессов. В той же работе приведена классификация инженерно-геологических прогнозов, разработанная Г.К.Бондариком. По отношению ко времени инженерно-геологические прогнозы подразделены на три категории: прогнозы, разрабатываемые безотносительно ко времени; срочные прогнозы, разрабатываемые на определенный срок; бессрочные прогнозы, срок которых не устанавливается или устанавливается путем качественных оценок.

По отношению к пространству Г.К.Бондарик выделяет три категории прогнозов: глобальные, региональные и локальные. Глобальный прогноз предусматривает предсказание изменений инженерно-геологических условий для всей планеты в целом или для крупных частей (полушарий, континентов). При региональных прогнозах рассматриваются большие территории, границы которых определяются в зависимости от цели прогноза. Локальный прогноз дается для небольших участков, охватывающих сферу воздействия объекта, или зон, в пределах которых развиваются геологические процессы, представляющие угрозу хозяйственным объектам.

Обзор методов прогноза оползней и селей достаточно полно изложен в работах В.В.Кюнтцеля [2] и А.И.Шеко [6]. Под прогнозом экзогенных геологических процессов понимается научное, основанное на закономерностях их развития, предсказание места, времени, интенсивности и характера оползней и селей, а также оценка их воздействия на хозяйственные объекты. Поэтому в зависимости от решаемых задач можно выделить следующие категории прогнозов экзогенных геологических процессов, в том числе оползней и селей: а) пространственные; б) временные; в) оценка интенсивности и степени воздействия оползней и селей на хозяйственные объекты. На рис.13.1 приведена общая схема прогнозов экзогенных геологических процессов. Эта схема показывает взаимоотношения между различными категориями прогнозов. За основу принято разделение прогнозов по временному признаку. По заблаговременности предсказания и методам, которые при этом применяются, выделены следующие виды прогнозов: а) основанные на анализе истории геологического развития; б) основанные на анализе крупных климатических изменений; в) долговременные; г) краткосрочные. Два первых вида временных прогнозов должны быть отнесены к категории эвристических.

На основании анализа истории геологического развития и крупных климатических изменений определяется общая тенденция развития оползневых и селевых процессов, которая должна учитываться при других более детальных видах долговременных и краткосрочных прогнозах. Для разработки прогнозов, основанных на анализе истории геологического развития, в первую очередь используются данные о современных тектонических движениях (направленность, интенсивность и контрастность их), которые определяют сейсмическую активность территории и тенденцию развития рельефа. Например, Черноморское побережье в настоящее время испытывает неоднородные дифференцированные вертикаль-

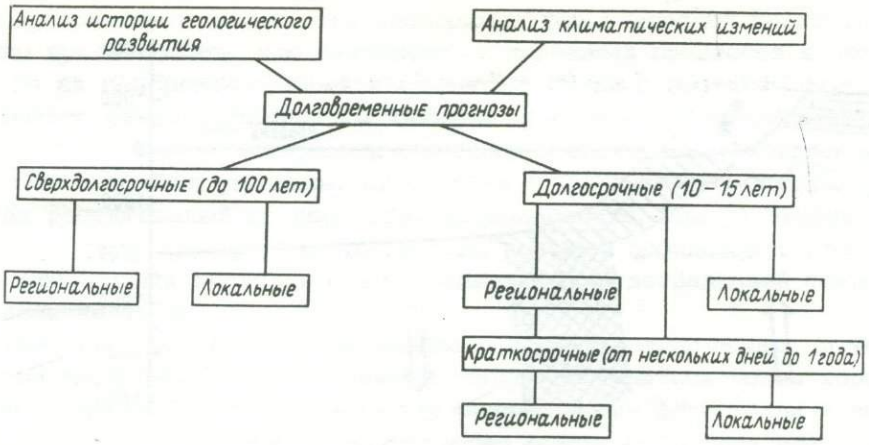


Рис.13.1. Общая схема временных прогнозов экзогенных геологических процессов

ные тектонические движения. Береговая полоса повсеместно, за исключением небольших участков, испытывает опускание со скоростью 0,5–2 мм/год [6]. Наиболее интенсивно опускание береговой полосы Черного моря происходит в районе городов Одессы (5,2 мм/год) и Поти (6,5 мм/год). Крымские горы и Главный Кавказский хребет испытывают дифференцированные поднятия, наибольшая скорость (10–14 мм/год) которых наблюдается на водораздельной части последнего. Опускание береговой полосы и поднятия водораздельных частей этих горных хребтов обусловливают контрастность рельефа, что создает благоприятные условия для развития оползней, селей и других экзогенных геологических процессов. В районе г.Одессы, где степная равнина уступом обрывается к морю, интенсивно развивается абразия, что вызывает активизацию оползневых процессов; в районе г.Поти, где низменная равнина постепенно переходит в пляж, происходит интенсивное заболачивание.

К зонам резко контрастных современных вертикальных движений обычно приурочены очаги сильных землетрясений. Эти зоны приурочены к крупным региональным тектоническим разломам. При анализе современных тектонических движений необходимо учитывать также и горизонтальную составляющую. К сожалению, горизонтальные тектонические движения в настоящее время изучены очень слабо. Количественные характеристики этих движений получены только в последние годы для отдельных районов. При помощи повторных лазерных измерений установлено, что расстояние между хребтами Петра Первого и Гиссарским уменьшается на 20 мм в год [1]. Анализ тектоники южного склона Главного Кавказского хребта дает основание предполагать, что в этом регионе имели место надвиги крупных массивов горных пород в сторону Черного моря. Эта тенденция тектонических движений, по-видимому, сохранилась в настоящее время. Подтверждением надвигания массива Крымских гор на Черное море может служить распределение гипоцентров землетрясений в районе г.Ялты. На рис.13.2 приведена схема движения блоков земной коры на участке сочленения Крымского полуострова и Черного моря. Глубинный региональный разлом, по которому происходит надвигание Крымских гор на Черноморскую впадину в пределах Южного берега Крыма, имеет падение в сторону полуострова. Основная зона сдвижений фиксируется по очагам землетрясений. В связи с разной направленностью движений блок земной коры с Яйлой поднимается, а дно Черного моря опускается. Самая крайняя часть блока, испытывающего поднятие, работает как консольная балка. Это вызывает сдвигающие напряжения, которые могут привести к отрыву огромных блоков от южного склона Крымских гор и смещению их под море. Таким образом, современные тектонические движения на Черноморском побережье создают благоприятные условия для развития оползневых и селевых процессов.

При локальных прогнозах необходимо учитывать особенности как древней истории геологического развития (тектоники), так и истории развития за неотектонический этап, выраженной в рельефе. При этом важно выявить приуроченность очагов развития оползней и селей к определенным структурным элементам пликативного и дизъюнктивного характера и то, как эти элементы повлияют на дальнейшее развитие этих процессов. Новейшая геологическая история очагов зарождения селей или участков проявления оползневых процессов устанавливается на основе анализа геоморфологических карт. По-

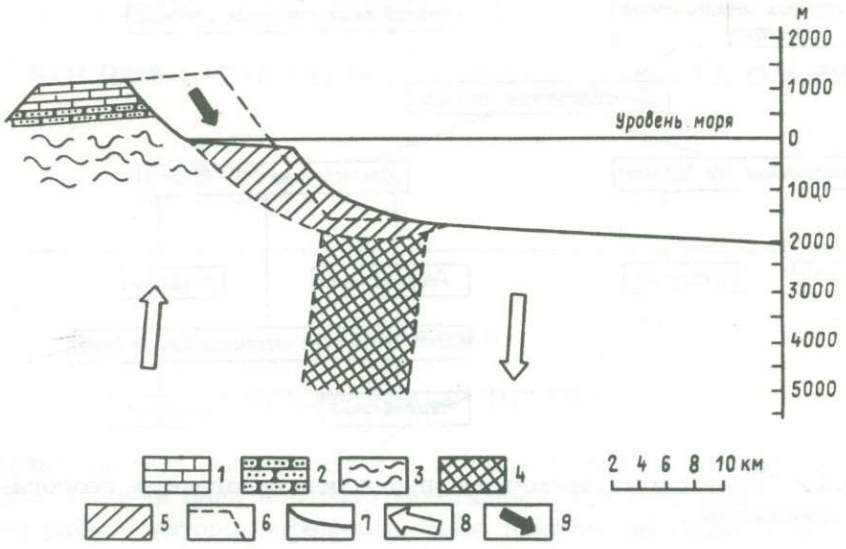


Рис.13.2. Схема тектонических и гравитационных движений земной коры на южном берегу Крыма: 1 – известняки верхней юры, 2 – песчаники средней юры, 3 – породы таврической свиты (терригенный флиш), 4 – зона наибольшей плотности очагов землетрясений, 5 – сместившиеся крупные блоки пород, 6 – предполагаемые первоначальные контуры сметившихся блоков, 7 – поверхность земли, 8 – направления современных тектонических движений, 9 – направление оползневых смещений

этому к этим картам должны предъявляться повышенные требования, т.к. они, кроме генезиса рельефа, должны отражать историю его развития, поскольку активность проявления оползневых и селевых процессов при прочих одинаковых условиях зависит от возраста склонов.

Прогнозы на основе анализа крупных климатических изменений также относятся к категории эвристических и должны даваться в пределах 1850-летнего цикла увлажненности. Этот цикл впервые был установлен А.В.Шнитниковым при анализе внутривековой изменчивости компонентов общей увлажненности северного полушария [7.]Детально анализ цикличности дан в работах Г.К.Тушинского [5] и А.И.Шеко [6].

Наиболее широко изучена последняя эпоха увлажнения и похолодания, которая прослеживается в северном полушарии повсеместно с XIII до середины XIX в. Ладюри Л. Р. на основе анализа большого фактического материала дал описание истории климата с 1000 года в Западной Европе [3]. Похолодания и большая увлажненность вызывают развитие горного оледенения и продвижение ледников в долинах. Заметное продвижение ледников в Альпах (департамент Шамони, Франция), по данным Ладюри Л.Р., было отмечено в середине XVI – начале XVII вв. Наибольшего развития ледники в Альпах достигли в середине XIX в. (1850-1855 гг.). Почти аналогичная картина наблюдалась, согласно исследованиям Г.К.Тушинского, в горах Кавказа [5]. Развитие ледников в Альпах и других горных странах северного полушария сопровождалось их катастрофическими подвижками, подпруживанием долин и образованием озер. Прорыв озер вызывал паводки и селевые потоки. Ладюри Л.Р. в своей работе приводит много примеров таких катастроф. Подобный характер имели селевые потоки, формировавшиеся в конце XVIII в., и первой половине XIX в. в бассейне р.Терека на Северном Кавказе. В твердой составляющей таких селевых потоков содержится большое количество глыб льда.

В более влажные эпохи 1850-летнего цикла происходит также активное развитие оползневых, эрозионных и других процессов. В настоящее время проявляется самая ранняя стадия длительной эпохи потепления и увеличения сухости, связанная с 1850-летним циклом. Это может продолжаться примерно до XXVI–XXVII в.в. При этом среднегодовая температура, по аналогии с предыдущими эпохами, будет немного выше, чем в настоящее время. Необходимо также учесть возможность повышения температуры за счет техногенных факторов (создание парникового эффекта за счет увеличения концентрации углекислоты). Деградация горных ледников в северном полушарии будет продолжаться. Не исключено, что они могут исчезнуть совсем. Полярные льды также будут интенсивно та-

ять. При этом характер и активность экзогенных геологических процессов будут изменяться. Можно предположить, что активность оползневых процессов в целом будет уменьшаться. Однако на побережьях морей и океанов в связи с эвстатическим подъемом уровня Мирового океана, вызванным таянием ледников, будет наблюдаться усиление абразии и как следствие – активности оползневых процессов. Активность эрозионных процессов в общем должна уменьшаться в связи с уменьшением стока, но в отдельных случаях, когда растительный покров будет деградировать, при увеличении интенсивности дождей возможно усиление эрозии. Активность селевых процессов также должна уменьшаться, но в эрозионных очагах и очагах, связанных с деградацией современных ледников, будет увеличиваться.

Следует отметить, что на фоне тенденции к общему потеплению и увеличению сухости, обусловленной 1850-летним циклом, будут проявляться более короткие циклы климатических изменений, которые вызовут значительные флуктуации в активности экзогенных геологических процессов. В настоящее время эти циклы еще слабо изучены. Представляется целесообразным при прогнозе обратить внимание на циклы продолжительностью 170-180 и 85-90 лет. Последний цикл изменений приурочен к вековому солнечному циклу.

Среди долговременных прогнозов следует различать сверхдолгосрочные (до 100 лет) и долгосрочные (до 10-15 лет). Долговременные прогнозы могут быть региональными и локальными. К категории временных прогнозов относятся определение сезонов, опасных в отношении проявления оползней (оползнеопасного сезона) и селей (селеопасного сезона), а также периодов наиболее вероятного проявления этих процессов. Методика их определения уже была описана в главе 8.

Литература

1. Буланже Ю.Д. Отчет о деятельности комиссии по современным движениям земной коры международной ассоциации геодезии за период 1967-1971 гг. "Проблемы соврем. движений земн. коры" 4-й Международн. симпозиум. Москва, 1971. Таллин: 1975, с.18-22.
2. Кюнтцель В.В. Закономерности оползневого процесса на Европейской территории СССР. М.: Недра, 1980, 213 с.
3. Ладюри Л.Р. История климата с 1000 года. Л.: Гидрометеоиздат, 1971, 278 с.
4. Попов И.В., Бондарик Г.К., Розовский Л.Б. Задачи и методы долгосрочного прогноза инженерно-геологических условий. "Рац. использование земн. коры". М.: 1974., с.22-30
5. Тушинский Г.К. Космос и ритмы природы Земли. М.: Просвещение, 1966, 120 с.
6. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. М.: Недра, 1980, 296 с.
7. Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности (очерки). Л.: Наука, 1969, 245 с.

Глава 14

СПЕЦИАЛЬНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПРИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПРОГНОЗАХ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ

1. Общие положения

Пространственные прогнозы предусматривают определение вероятности проявления оползней и селей в целом на земном шаре или в отдельных его частях (глобальные прогнозы), в крупных регионах (региональные прогнозы) или на отдельных участках (локальные прогнозы) без учета времени. В данной работе рассматриваются региональные и локальные прогнозы, как пространственная часть пространственно-временных прогнозов.

Основными задачами региональных прогнозов являются: а) оценка условий и определение возможностей проявления оползней и селей в данном районе; б) выявление пространственного распределения различных генетических видов оползней и селей; в) оценка интенсивности и активности оползней и селей.

Перечисленные задачи могут быть решены в ходе инженерно-геологических исследований в масштабе 1:200 000 - 1:500 000 как комплексных, так и специально проводимых с целью изучения экзогенных геологических процессов.

Оценка возможности проявления оползней и селей может быть представлена в виде следующих карт: а) инженерно-геологической карты интенсивности проявления экзогенных геологических, в том числе оползневых и селевых процессов; б) карты геодинамического потенциала; в) карты риска.

Локальные прогнозы составляются на оползневой склон (участок) или на отдельный оползень. При этом должны быть решены следующие задачи; а) определена устойчивость склона в целом, выявлены участки с наиболее активным развитием оползневого процесса; б) определены границы, мощность и объемы возможных смещений; в) определены критические значения основных параметров (влажности, объемной массы, сопротивления сдвигу). Перечисленные задачи решаются в ходе детальных инженерно-геологических исследований в масштабе от 1:1 000 до 1:5 000, которые должны проводиться на фоне инженерно-геологической съемки масштаба 1:25 000 - 1:50 000, охватывающей район, по площади достаточный для того, чтобы выявить общие закономерности развития оползневых склонов.

Локальные прогнозы селей предусматривают определение в селевом бассейне пространственного распределения очагов формирования твердой составляющей, особенностей формирования жидкой составляющей, зон временного и окончательного затухания селей, мест заторов, а также оценку интенсивности и активности экзогенных процессов как факторов, подготавливающих твердую составляющую. Эти задачи решаются в ходе специальной или комплексной инженерно-геологической съемки в масштабах 1:25 000-1:50 000 всего селевого бассейна с более детальным изучением очагов зарождения. В результате решения задач по локальному прогнозу оползней и селей составляются карты устойчивости оползневых склонов, карты формирования твердой и жидкой составляющих. На фоне общего инженерно-геологического районирования селеопасного бассейна, при котором выделяются следующие таксономические единицы: регионы (не всегда), области и районы, на прогнозных картах должны быть выделены характерные зоны развития селевого потока: а) зарождения; б) транзита; в) временного затухания и г) аккумуляции (разгрузки). Основной таксономической единицей на этих картах являются участки, выделенные по активности и характеру поступления твердого материала в селевой поток. По этому признаку могут быть выделены следующие группы участков: а) поставляющие твердый материал в водоток до и в момент зарождения селя; б) пополняющие сель твердым материалом во время его движения; в) непосредственно не питающие водотоки твердым материалом, но активно подготавливающие его; г) потенциально возможного поступления твердого материала в водоток в больших объемах при землетрясениях или других исключительных условиях; д) не поставляющие твердый материал в водотоки.

В зоне аккумуляции по степени подверженности территории заносу селевыми отложениями целесообразно выделять: а) русло и низкую пойму; в) первую надпойменную террасу и т.д. К карте прикладывается таблица с подробной характеристикой участков с указанием возможных объемов поступления твердого материала. Для бассейнов с очагами зарождения селей первой группы (временные и малые водотоки) и первой подгруппы второй группы (подпруживание рек) целесообразно составлять карты интенсивности селевых очагов различных генетических типов. Под интенсивностью очагов понимается отношение площади очагов зарождения селей на данном участке селевого бассейна ко всей площади этого участка или ко всей площади селевого бассейна.

При оценке опасности очагов зарождения селей, связанных с подпруживанием рек, следует различать возможные подпруживания с одной стороны, и древние завалы и искусственные плотины, с другой. Пространственные локальные прогнозы для первой подгруппы этих очагов заключаются в составлении специальной прогнозной инженерно-геологической карты участка долины возможного подпруживания с районированием склонов по степени устойчивости. Одной из важных задач является определение границ и объе-

мов возможного обрушения горных пород со склонов, а также определение пространственного расположения возможной завальной перемычки и ее размеров.

При пространственных прогнозах селей, связанных с завальными озерами и водохранилищами, следует прежде всего исходить из того, что селевые потоки могут формироваться как при прорыве завальной перемычки, так и при переливе (выплеске) воды из озера (водохранилища) через нее. Выплеск воды из озера или водохранилища может быть вызван или обрушением больших масс горных пород в озеро с его берегов в виде обвалов и оползней (озеро Яшинкуль, 1966 г.) или селевыми потоками, проходящими по рекам, впадающим в озеро или водохранилище (озеро Иссык, 1963 г.) Поэтому основными задачами пространственных прогнозов должны быть: а) определение возможности и мест образования крупных обвалов и оползней на берегах озера или водохранилища, способных вызвать перелив воды через завал или плотину; б) определение возможности прохождения по водотокам, впадающим в озеро, селевых потоков, которые способны вызвать перелив воды через плотину и ее разрушение; в) оценка возможности разрушения плотины за счет размыва, фильтрации, суффозии и других причин.

В очагах, связанных с современными ледниками, необходимо оценить состояние современной морены, наличие моренных озер, состояние их перемычек, наличие термокарстовых подземных каналов, состояние ледника и т.д.

В очагах, связанных с деятельностью вулканов, особое внимание должно быть уделено анализу извержений, которые имели место в прошлом и изучению возможности формирования селей при новых извержениях; должны быть определены возможные пути движения селей.

2. Районирование по интенсивности проявления оползней и селей

Объективная оценка развития экзогенных геологических процессов может быть дана только на основе количественных показателей. В качестве таких показателей Е.П.Емельяновой была принята интенсивность и активность процесса [5]. Под интенсивностью Е.П.Емельянова понимает количество форм проявления данного процесса на единицу площади или длины; или долю (в относительных единицах или процентах) площади или длины, занятой формами проявления процессов, независимо от возраста, отнесенной к общей площади или длине участка. Активность – это отношение количества свежих форм проявления процесса к их общему количеству (числу, длине, площади).

Однако автором не были даны теоретическое обоснование этих показателей и методика их расчета, что мешало широкому их применению при инженерно-геологическом картировании.

Введение в инженерную геологию понятий интенсивности и активности имеет большое теоретическое, методическое и практическое значение. Но эти понятия нуждаются в уточнении. Интенсивность в нашем понимании – это первая производная по времени функции развития того или иного процесса за длительный период времени (в пределе может быть принята продолжительность четвертичного периода или отдельных его эпох). Эта функция может быть выражена в виде пораженности территории тем или иным генетическим типом экзогенных геологических процессов. Таким образом, по величине функции – пораженности территории экзогенными геологическими процессами – можно судить об интенсивности их развития за все время существования данного склона (поверхности). Пораженность территории экзогенными геологическими процессами выражается в виде коэффициента пораженности. При вычислении коэффициентов пораженности учитываются все формы проявления процесса независимо от возраста как древние, так и современные, в том числе и активные. Коэффициент пораженности является не только косвенным показателем интенсивности развития того или иного процесса, но в интегральной форме учитывает взаимодействие всех факторов, обусловивших развитие этого процесса на данном участке, а также определяет потенциальную возможность (предрасположенность) проявления на данной территории тех или иных экзогенных геологических процессов.

Активность характеризует степень пораженности территории действующими (активными) на данный отрезок времени экзогенным геологическим процессом и представляет собой отношение площади (длины) действующих форм данного процесса ко всей площади

5386

проявления этого же процесса на данном участке. Активность определяется современными экзогенными (климатические, гидрологические, антропогенные и другие) и эндогенными (сейсмичность и др.) факторами.

Интенсивность может быть принята за постоянную величину, практически не изменяющуюся во времени, а активность изменяется во времени и испытывает циклические колебания различной продолжительности в зависимости от факторов, обусловливающих развитие экзогенных геологических процессов. На основе вышеизложенных понятий разработана методика оценки интенсивности (пораженности территории) и активности развития оползней, селей, обвалов, осыпей и других процессов. В настоящее время эта методика широко применяется в Советском Союзе при инженерно-геологическом картировании и специальном обследовании с целью оценки интенсивности проявления экзогенных геологических процессов. Производственные геологические объединения завершают работы по составлению инженерно-геологических карт районирования территории по интенсивности проявления экзогенных геологических процессов. В результате этих работ будет дана оценка интенсивности проявления экзогенных геологических процессов на всей территории СССР, т.е. на площади, равной одной шестой площади суши нашей планеты.

Интенсивность экзогенных геологических процессов на этих картах оценивается коэффициентами пораженности, которые могут быть площадными или линейными. Интенсивность проявления селей оценивается коэффициентом селеносности (K_s), под которым понимается отношение длины русел реки и временных водотоков, по которым проходят селевые потоки (l) к суммарной длине всех водотоков на данном участке (L).

$$K_s = \frac{l}{L}. \qquad (14.1)$$

Коэффициент селеносности изменяется от 0 до 1.

Интенсивность проявления оползней может оцениваться двумя показателями: коэффициентом площадной пораженности и коэффициентом частоты оползней.

Коэффициент площадной пораженности (K_p) - это отношение площади, пораженной оползнями (f_p), ко всей площади участка (F).

$$K_p = \frac{f_p}{F}. \qquad (14.2)$$

Коэффициент площадной пораженности также изменяется от 0 до 1. Под коэффициентом частоты оползней (K'_p) понимается отношение числа оползней (n) на данном участке к площади этого участка (F).

$$K'_p = \frac{n}{F}. \qquad (14.3)$$

Этот показатель характеризует пораженность весьма условно и может принимать значения теоретически от 0 до $\sim$. Коэффициент частоты оползней следует применять для оценки в районах с единичным проявлением процесса на промежуточном этапе. При окончательном оформлении карты должен быть вычислен коэффициент площадной пораженности территории оползнями по формуле:

$$K_p = \frac{nf'_n}{F}, \qquad (14.4)$$

где n - число оползней на участке;

f'_n - средняя статистическая площадь одного оползня данного генетического вида.

Оценка пораженности территории другими типами экзогенных геологических процессов производится аналогично. Если на участке распространено несколько генетических видов оползней или селей, то представляется целесообразным определять коэффициент пораженности для каждого вида процесса.

Общая оценка интенсивности совместного развития экзогенных геологических процес-

сов на данном участке определяется по ведущему процессу, т.е. по тому процессу, который характеризуется наибольшим коэффициентом пораженности с учетом других процессов, характеризующихся меньшей интенсивностью. Для обозначения оценки совместного проявления экзогенных геологических процессов на данном участке предлагается пользоваться специальной формулой. Например, интенсивность проявления экзогенных геологических процессов на каком-то участке характеризуется следующими коэффициентами: селей $K_s = 0,8$; оползней $K_p = 0,2$; обвалов $K_q = 0,1$; склонового смыва – 0,05.

В этом случае формула интенсивности развития экзогенных геологических процессов (ФИЭП) будет иметь вид:

8S2P1Q,

где: S – сели.
P – оползни
Q – обвалы.

Таблица 14.1

Классификация по пораженности территории экзогенными геологическими процессами

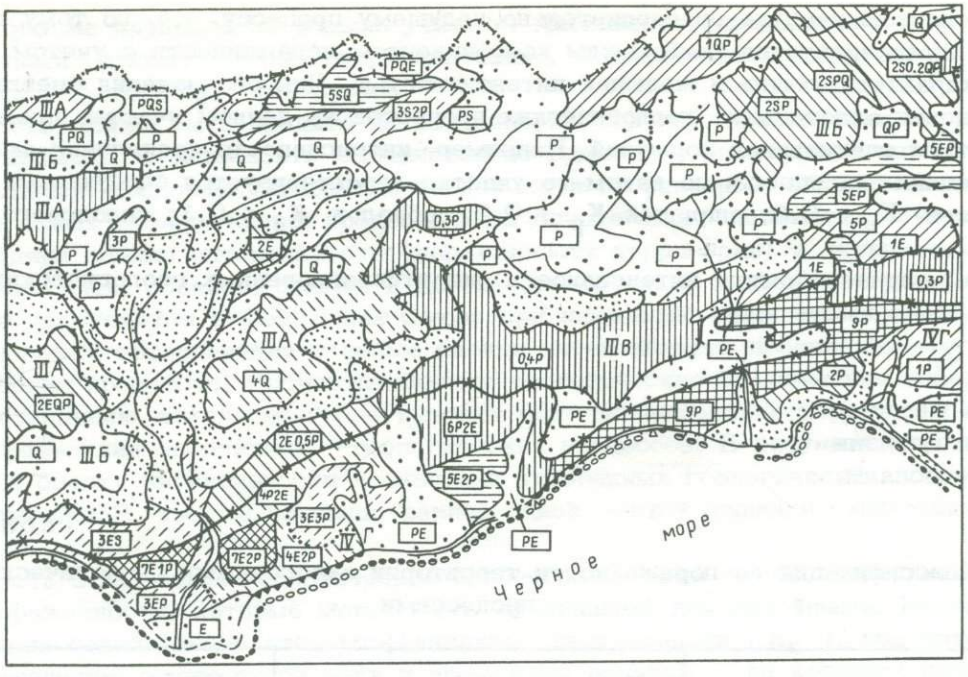
Категория пораженности	Наименование категории пораженности	Коэффициент пораженности
I	Весьма слабая	< 0,01
II	Слабая	0,01–0,1
III	Средняя	0,1–0,2
		0,2–0,3
IV	Сильная	0,3–0,4
		0,4–0,5
V	Очень сильная	0,5–0,6
		0,6–0,7
VI	Весьма сильная	0,7–0,8
		> 0,8

В этой формуле коэффициенты перед символами, обозначающими генетический тип процесса, обозначают десятки процентов или доли единицы площади, которая занята под данным экзогенным геологическим процессом.

В табл.14.1 приведена классификация по пораженности территории различными типами экзогенных геологических процессов. Инженерно-геологическое районирование по интенсивности проявления оползней и селей и других экзогенных геологических процессов осуществляется по принципам, разработанным И.В. Поповым, следующим образом. По геоструктурному признаку, отражающему наиболее общие черты развития данного участка земной коры, выделяются инженерно-геологические регионы. В зависимости от сложности тектонического строения могут быть выделены регионы второго и даже третьего порядка. Регионы по особенностям геоморфологических условий подразделяются на инженерно-геологические области, а области по особенностям геологического строения (литологии пород и т.д.) – на инженерно-геологические районы. Области и районы в зависимости от сложности геоморфологических условий и литологических особенностей горных пород могут быть в случае неоходимости подразделены на области и районы второго порядка. Но, как правило, такая необходимость возникает очень редко.

В пределах районов по совокупности и интенсивности проявления экзогенных геологических процессов выделяются участки. Это обычно склоны долин малых рек или части склонов долин средних рек, сложенные однообразной толщей пород. Участок – это основная таксономическая единица, для которой дается количественная оценка пораженности экзогенными геологическими процессами. Фрагмент инженерно-геологической карты районирования по интенсивности проявления экзогенных геологических процессов приведен на рис.14.1.

5386



Условные обозначения

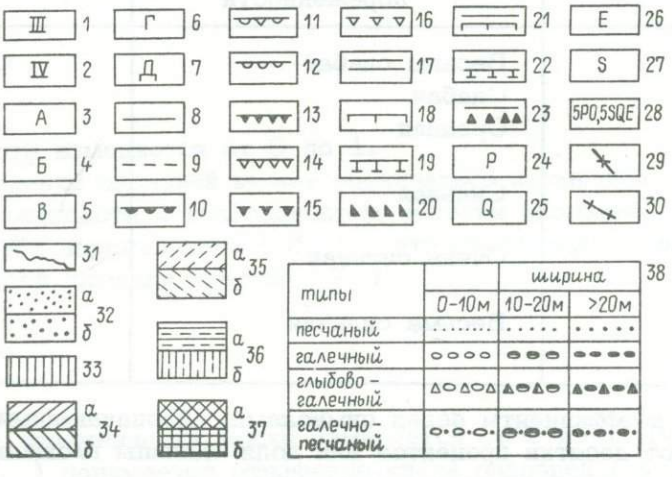


Рис.14.1. **Фрагмент инженерно-геологической карты районирования территории по интенсивности проявления экзогенных геологических процессов:** Регионы: 1 – мегантиклинорий Главного Кавказского хребта, 2 – Грузинский срединный массив. Области: 3 – нивальная алпийская; 4 – высокогорная; 5 – среднегорная; 6 – низкогорная; 7 – холмистых предгорий. Генетические типы берегов: 8 – равнинные с береговым валом; 9 – равнинные, постепенно переходящие в пляж; 10 – абрадируемые оползневые; 11 – абразионно-оползневые; 12 – неабрадируемые оползневые; 13 – абрадируемые отвесные в скальных и полускальных породах; 14 – неабрадируемые отвесные в скальных и полускальных породах; 15 – абрадируемые отвесные в рыхлых несвязных породах; 16 – неабрадируемые в рыхлых и связных породах. Берегозащитные сооружения: 17 – волноотбойные стенки; 18 – буны:, 19 – волноломы; 20 – наброски тетраподов; 21 – волноотбойные стенки с бунами; 22 – волноотбойные стенки с волноломами; 23 – волноотбойные стенки с набросками. Обозначения экзогенных геологических процессов; 24 – оползни; 25 – обвалы и осыпи; 26 – эрозия; 27 – сели; 28 – формула проявления экзогенных геологических процессов: коэффициент перед буквой – пораженность территории в десятках процентов; 29 – границы регионов; 30 – границы областей; 31 – границы районов; в кружочке – номер района, соответствующий инженерно-геологическому комплексу пород. Интенсивность проявления экзогенных геологических процессов: 32 – весьма слабая, а – процессы не зафиксированы, б – пораженность менее 0,01; 33 – слабая (0,01-01); 34 – средняя

3. Принципы и методы картирования оползнеопасных зон

Для предотвращения катастрофических последствий необходимо выделять зоны, опасные с точки зрения того или иного оползневого явления, другими словами, выявлять при помощи картографического районирования те районы, которые могут прямо или косвенно пострадать от оползней, селей или других активных форм денудации. В последние годы в этой области были проведены многочисленные работы, что свидетельствует об интересе ученых и правительств к накоплению данных – обязательному этапу при осуществлении мер по предупреждению и защите от ЭГП.

В данной главе дается анализ основных методов, признанных всеми геологами, однако без претензии на установление единых норм, которые, как известно, определяются местными условиями и масштабом работ. Таким образом, накопление данных и их интерпретация с целью картирования оползнеопасных зон будут представлять собой два основных вопроса, развиваемых в этой главе.

С целью предсказания во времени и пространстве проявлений тех или иных движений земной коры, необходимо знать о похожих событиях, имевших место в историческом или недавнем прошлом, так как это знание позволяет применить метод аналогий. Если, например, тот или иной тип оползневого явления имеет место в данных географических, морфологических, геологических, климатических и т.д. конкретных условиях, то возможно, что в подобных условиях могут возникнуть подобные оползневые явления. Необходимо, следовательно, при любом масштабе исследований уделять большое внимание анализу факторов, являющихся причиной старых или недавних подвижек, так как этот анализ является гарантией надежности интерпретации, а в конечном счете и прогнозного районирования. Эволюция какого-либо ландшафта должна рассматриваться не изолированно, и поэтому геолог должен анализировать его в полном объеме, выявляя следы древних движений, описывая недавние или современные смещения грунтов в их зависимости от литологии, условий рельефа, интенсивности атмосферных осадков и т.д. для того, чтобы выявить общие сведения о районах, где могли бы проявиться аналогичные движения. Таким образом, такой анализ выливается в интерпретационную карту – результат анализа по подобию.

Необходимо подчеркнуть также, что потребителю нужна и исходная информация, которая привела бы к такой интерпретации. Она может быть представлена как в виде отдельного атласа (аналитические карты факторов), так и на той синтетической карте, если она не слишком перегружена информацией. Детальное описание уже имевших место движений (вид, протяженность и объем перемещенного материала, частота проявления, причиненный ущерб и т.д.) должно найти свое место в легенде к карте, поскольку оно является ценным дополнением при оценке вероятности таких движений в опасных зонах. Следует также напомнить, что картирование и вытекающее из него районирование имеет своей целью познание и предупреждение явлений. Картирование достигнет этих целей только в том случае, когда авторы таких карт установят контакты с их потребителями. С одной стороны, они будут представлять им различные виды геологической информации, с другой стороны, они смогут определить вместе с потребителями конкретные области применения такого метода.

Основные факторы, определяющие устойчивость склона, многочисленны и часто переплетаются между собой. Они могут быть двух видов: а) постоянные, связанные с топографией, геологией (литология, структура, поверхностные образования и т.д.), гидрогеологией (циркуляция подземных вод, дренирование и т.д.); б) временные, действующие лишь периодически в течение определенного отрезка времени, например, атмосферные осадки, засуха, растительность, деятельность человека и т.д.

Целесообразно просмотреть все эти факторы с детальностью, которая зависит от масштаба работ. В анализе этих данных необходимо придерживаться определенной последовательности. Он должен начинаться с перечня всех недавних и исторических подвижек для того, чтобы определить вид и значительность каждой из них. Если недавние движения определить довольно легко, то самые древние требуют исследования, для которого необходимо хорошо знать региональную геологию, детально осмотреть район, проанализировать аэрофотоснимки и т.д. А в странах с древней цивилизацией анализ должен быть дополнен исследованием архивов, где эти движения были зарегистрированы, по-

скольку являлись причиной ущерба или жертв. Этот первый этап учета смещений является очень важным: система условных обозначений позволяет нанести смещения грунтов на карту либо в истинных размерах, если речь идет о крупномасштабной карте (1:25 000, 1:100 000), либо в виде символов для мелкомасштабных карт (1: :1 000 000 и более). Наложение этой информации на топографическую, литологическую, структурную и другую основу позволяет в дальнейшем провести районирование. Второй этап представляет собой, вне зависимости от масштаба карты, идентификацию и взвешивание роли каждого фактора при возникновении смещений описанных выше. Вне зависимости от точечных наблюдений, представленных на карте, необходимо составить матрицу факторов, которые, взаимодействуя друг с другом, являются причиной неустойчивости горных пород. Эта матрица вместе с картографическим определением некоторых факторов является основным элементом при разработке графического синтеза. В зависимости от географического контекста составляется некоторое количество аналитических карт факторов: карты углов наклона рельефа; рыхлых поверхностных отложений, дренирования вод, растительности, атмосферных осадков, сейсмичности и т.д. Конечно, нет необходимости составлять все эти карты каждый раз. В то же время геологу необходимо посмотреть все соответствующие факторы для того, чтобы в дальнейшем исключить те из них, которые влияют слабо или совсем не влияют на устойчивость горных пород.

Сбор данных для составления карты зон, подверженных оползневым явлениям, представляет собой прикладное специальное геологическое картирование, при котором используются все способы, имеющиеся в распоряжении геолога (изучение документов, осмотр местности, анализ аэрофотоснимков, анализ образцов и т.д.), с учетом масштаба объекта (континент, страна, область, район).

Для удовлетворения потребности в идентификации и предупреждении оползней нельзя ограничиваться простым их перечнем и определением факторов (геологического, климатического и т.д.). Необходимо, по крайней мере, указать зоны, где действуют те же факторы, где могут произойти те же явления.*

Принцип интерпретации и сопоставления данных схематически может быть представлен следующим образом. Зная, с одной стороны, существующие различные типы оползней (природа, объем, распространение), их топографические, геологические, структурные и др. условия проявления (обильные атмосферные осадки, непредусмотренные работы на склонах, сейсмичность и т.д.) и определив, с другой стороны, либо точечно, либо по площади различные факторы, вовлекаемые в исследование в форме матриц или карт, производится синтез, который представляет собой построение карт оползнеопасных зон.

Если принять эти принципы, т.е. получить истинную карту зон опасных с точки зрения оползневых явлений, то не следует переоценивать и придавать исключительное значение некоторым факторам, которыми оперирует геолог. Так, некоторые авторы указанных карт пытаются ограничиться картой морфологии, путая активные в прошлом процессы с теми, которые могут действовать сейчас. Оставаться на этих позициях, значит игнорировать возможности возобновления этих процессов с интенсивностью, которая может привести к реальной опасности. Другая тенденция, которую следует избегать, – это составление инженерной геологической карты, группируя грунты в зависимости от их устойчивости по отношению к инженерным сооружениям по классификации, которая не имеет ничего общего с опасностью оползневых явлений, природных или вызванных деятельностью человека.

Большинство авторов доверяют своему опыту геологов в установлении этих корреляций. Одни приходят к районированию, включающему как минимум три группы: устойчивые зоны, потенциально неустойчивые зоны, неустойчивые зоны или же зоны без смещений, зоны потенциальных смещений и зоны активного движения. Другие пытаются автоматизировать разделение на зоны, строя матрицу факторов и приписывая каждому из них коэффициент интенсивности. Тот и другой способы имеют свои преимущества и недостатки, которые необходимо детально проанализировать. Однако ничто не может заменить богатого практического опыта геолога. В любом случае карта при использовании всех методик и всех особенностей районирования должна сопровождаться пояснительной

---

* В главе такие зоны называются временными.

запиской, в которой дается описание оползней, условий, в которых они произошли, а также их распространение в пространстве и времени.

Прогноз во времени, который желает иметь каждый потребитель, в противоположность прогнозу в пространстве, получить более трудно, так как он, как и все прогнозы, имеет свои ограничения. Так, проявление оползней и селей связано, например, с обильными атмосферными осадками, характеристики которых известны. Помимо этого, обрушение и обвал скальных пород могут быть вызваны сейсмическими толчками определенной интенсивности. Таким образом, прогноз во времени может быть сделан лишь в той мере, в какой вообще возможен прогноз повторения таких исключительных явлений, как атмосферные осадки экстремальной интенсивности или подземные толчки. Только тогда можно сказать, что подобные явления могут повториться через 5-10 или 50 лет. Однако возможности прогнозирования значительно ухудшаются, когда нужно принимать во внимание процессы, происходящие внутри склона, как, например, изменение условий водообмена, и когда нужно предсказать время потери устойчивости склона.

В заключение отметим, что прогноз во времени должен делаться очень осторожно. Он зависит, в основном, от внешних природных факторов (атмосферные осадки, сейсмичность и т.д.) или деятельности человека (строительство, корчевка леса и т.д.), которыми в какой-то степени можно управлять. Напротив, прогноз в пространстве, связанный прежде всего с постоянно действующими факторами (рельеф, литология, структура и т.д.), которые можно изучать и анализировать, обладает большей надежностью и лучше всего поддается картированию.

В формулировании основных принципов составления карт районов, опасных с точки зрения смещений грунтов, потребитель может найти два вида информации, отвечающей двум различным целям.

Первый вид информации, находящий свое отражение в названии карт, дает основание для разделения территорий на районы, подверженные прямо или косвенно определенному типу смещений (оползни, сели и т.д.). Эта информация адресована прежде всего лицам, ответственным за проектирование строительства, землепользование (строительство жилья, мест отдыха, сельскохозяйственных организаций и т.д.), а также ответственным за безопасность людей и сохранность имущества. С помощью этой информации внимание гражданских властей привлекается к опасным районам, и планируются соответствующие предупредительные действия. Для иллюстрации приведена карта, составленная Французской Геологической Службой в масштабе 1:25 000. Поскольку карта выбрана произвольно, она представляет собой один пример подобных карт, сделанных во Франции, Норвегии, Швеции, Новой Зеландии, Турции, Канаде, США (рис.14.2). Более подробный обзор представлен в ранее опубликованных материалах ЮНЕСКО.

Второй вид информации адресован ученым, геологам-специалистам по оползневым явлениям, а также инженерам, которые используют ее в качестве основы и углубляют ее для своих специальных целей. Эта информация представлена в виде перечня типов смещений и карт факторов, таких как литология, характер рельефа, условия водообмена и т.д.

4. Прогнозная оценка степени подверженности территории оползневому процессу

В СССР инженерно-геологическое районирование, выполняемое по признакам (факторам), подобно изложенному в предыдущем параграфе, производилось уже в самом начале формирования инженерной геологии как науки и имеет длительную историю. Один из наиболее удачных примеров прогнозного инженерно-геологического районирования по выделенным на основе анализа факторов оценочным баллам приведен в работе [4]. Недостатком подобных разработок является несколько субъективный подход исследователей при определении веса факторов и ранжировании их на классы. Такие оценки, как правило, носят качественный, сугубо ориентировочный характер. В последние десятилетия наметилась тенденция перехода к более объективному, строго формализованному и, в известной мере, количественному решению задачи прогнозной оценки подверженности территории воздействию оползневого процесса с составлением соответствующих карт. Некоторые исследователи именуют эти карты - картами оценки оползневого риска.

В данной главе рассматриваются два метода, разработанные в институте ВСЕГИН-

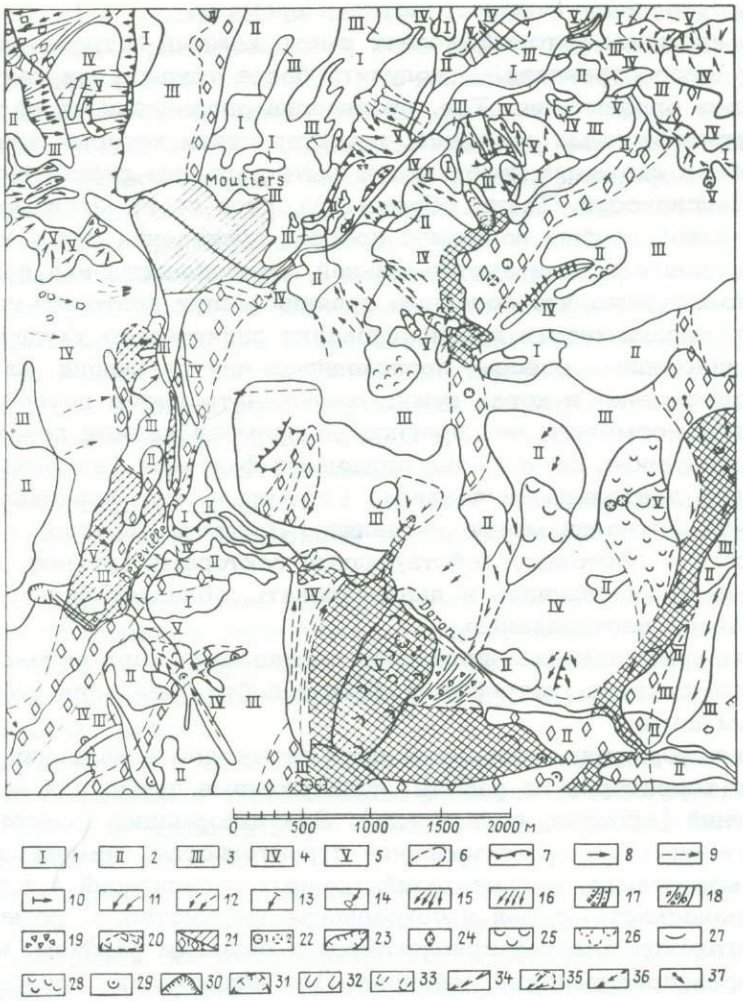


Рис.14.2. Фрагмент карты районирования возможного риска смещения грунтов (ЗЕРМОС) района Мутье (Савойя) масштаба 1:25 000. Районирование по степени риска: 1 – отсутствие реальной опасности; 2 – слабая опасность, необходимы дальнейшие исследования; 3 – опасность возможна, целесообразно проведение мероприятий по защите территорий после дополнительных исследований; 4 – опасность значительная, предупредительные меры дорогостоящие, их осуществление нецелесообразно; 5 – опасность весьма значительная, проведение предупредительных мер невозможно; 6 – участки с угрозой обрушения скальных пород. Динамические характеристики района, по данным съемки 1977–1978 гг. Камнепады и обрушения блоков: 7 – скальные уступы. Обвалы горных пород: 8 – современные; 9 – древние; 10 – локальные; 11 – вывал блоков; 12 – камнепады; 13 – обвал отдельных блоков; 14 – обвалившийся блок; 15 – зона вывала блоков; 16 – зона камнепадов; 17 – свежий обвал с камнепадами; 18 – свежий обвал с вывалами блоков; 19 – крупное обрушение; 20 – соскальзывающая пачка горных пород. Оседание и обрушение: 21.1 – видимое наличие гипса; 21.2 – скрытое наличие гипса; 22.1 – современное локальное естественное обрушение горных пород; 22.2 – древнее локальное естественное обрушение горных пород; 23 – значительное естественное обрушение; 24 – естественное оползание. Оползни и каменные потоки: 25 – оползни современные; 26 – оползни древние; 27 – оползни сложные; 28 – поверхностные оползни; 29 – единичные оползни; 30 – современная обвальная ниша; 31 – древняя обвальная ниша; 32 – современный каменный поток. Эрозионные врезы: 34 – линейная эрозия; 35 – эрозионная ниша; 36 – лавовые потоки; 37 – увлажненная зона

ГЕО (СССР) в 70-е годы текущего столетия, которые основаны на количественном учете влияния природных и техногенных факторов на развитие оползневого процесса [12]. Прогнозная оценка в каждой точке исследуемой территории (элементарном участке) определяется по комплексным показателям: оползневому потенциалу (метод геодинамического потенциала) или оценочной функции (метод упорядоченной классификации элементарных участков), которые отражают степень потенциальной подверженности элементарного участка оползневому процессу. Построение прогнозных карт осуществляется с использованием ЭВМ. Для подготовки исходной информации производится разделение изучаемой территории на элементарные участки. Они могут быть выделены с помощью прямоугольной сетки координат или представлены точками опробования без составления аналитических карт (например, точки инженерно-геологических наблюдений, геофизических измерений, опорные скважины и т.д.). Информация о факторах снимается с геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических, геофизических, климатических и других карт. Кроме того, используются материалы специальных исследований, наблюдения за режимом оползней и влияющих на их развитие факторов и т.д.

В зависимости от масштаба исследований, типа оползней по их механизму, целевых задач прогноза, а также качества и объема исходной информации, определяется набор факторов, значения которых должны быть представлены на каждом элементарном участке. При этом может быть использована не только количественная, но и качественная информация (например, состав стратиграфо-генетических комплексов или литологических типов пород и др.). Числовая информация о значениях факторов на каждом участке, а также координаты участка пробиваются на перфокартах. Прогнозная оценка производится по программам для ЭВМ в соответствии с разработанными алгоритмами, особенности которых рассматриваются ниже.

Метод геодинамического потенциала

В соответствии с поставленной целевой задачей в избранном масштабе исследований составляются карты распространения выбранного типа оползней с показом границ их распространения и степени активности. Геодинамический потенциал может вычисляться с учетом как отдельных типов оползней, так и общей их совокупности. Каждый из выбранных факторов разбивается на классы. Размах значений каждого фактора из набора $1,2\ldots, j, \ldots\ldots m$ разбивается на S интервалов (классов: $1,2\ldots, i\ldots, S$).

В соответствии с понятием геометрической вероятности каждый элементарный участок исследуемой территории трактуется как испытание, в результате которого событие A (возникновение или активизация оползня) может произойти или не произойти. При этом под вероятностью возникновения или активизации оползней в пределах площади i-того класса j-того фактора понимается отношение числа элементарных участков N_{onji} i-того класса j-того фактора в пределах площади проявившихся оползней рассматриваемого типа (число испытаний, при которых произошло событие A), к числу всех элементарных участков в пределах площади всего класса N_{ij}

$$p_{ji} = p\left(\frac{A}{N_{ji}}\right) = \frac{N_{onji}}{N_{ji}} \qquad (14.5)$$

Оценка степени влияния j-того фактора на оползневой процесс определяется весовым коэффициентом V_j, вычисляемым по формуле:

$$V_j = I_j - p_j, \qquad (14.6)$$

где I_j – информационный коэффициент, определяемый по значениям энтропии

5386

$$I_j = \frac{H_{max} - H_j}{H_{max}} \qquad (14.7)$$

p_j – нормированная вероятность,

$$p_j = \frac{\sum_{i=1}^{S} p_{ji}}{S} \qquad (14.8)$$

Энтропия, как известно из теории информации, выступает в качестве меры неопределенности системы с известными вероятностями ее состояний. В качестве системы в данном случае выступает фактор, а состояний – классы фактора. Чтобы вероятности состояний составляли полную группу событий, т.е. их сумма равнялась бы 1, определяют приведенные вероятности (p_{ji}).

$$(p_{ji}) = \frac{p_{ji}}{\sum_{i=1}^{S} p_{ji}} \qquad (14.9)$$

Энтропия j –того фактора определяется по значениям (p_{ji})

$$H_j = -\sum_{i=1}^{S} (p_{ji}) \log (p_{ji}) \qquad (14.10)$$

Максимальная энтропия для j –того фактора $H_{max} = \log S$.

Результирующая вероятность (геодинамический потенциал W) возникновения или активизации рассматриваемого типа оползня на каждом элементарном участке территории определяется в результате учета всего набора m факторов, оказывающих влияние на оползневой процесс.

Геодинамический (оползневой) потенциал W_{on} любого элементарного участка определяется как вероятность суммы конечного числа событий с допущением независимости действия m факторов

$$W_{on} = 1 - \prod_{k=1}^{m} (1 - p_{ji}), \qquad (14.11)$$

где Π – знак произведения; p_{ji} – значения вероятностей для классов каждого из факторов набора m – на данном элементарном участке. Как и вероятность W_{on} изменяется в пределах от 0 до 1.

Построение прогнозной карты производится путем районирования по значениям оползневых потенциалов. Количество выделенных на карте районов может быть разным, в зависимости от целевых задач, однако оптимальное их число от 3 до 5. Для этого весь диапазон изменений величины оползневого потенциала разбивается на выбранное число интервалов, и участки с близкими значениями потенциалов, попадающие в один из этих интервалов, объединяются в районы различной степени подверженности оползневому процессу (слабой, средней, сильной и т.д.).

При составлении прогнозных карт районирования по оползневому потенциалу без использования ЭВМ целесообразно набор факторов разделить на две группы: быстроизменяющиеся и практически постоянные. Результирующая карта строится в два этапа. На первом из них учитываются только постоянные факторы, на втором – значения потенциалов уточняются посредством дополнения набора факторов быстроизменяющимися. При повторных оценках подверженности территории производится корректировка потен-

циала по новым значениям быстроизменяющихся факторов, т.е. выполняются расчеты лишь второго этапа.

На картах оползневого потенциала время упреждения выражено в неявной форме. Имеются предложения по модификации данного метода с устранением этого недостатка [3]. Однако и в предлагаемом виде метод оползневого потенциала может с успехом использоваться при оценке оползневого риска или оползневой опасности на период относительно постоянного воздействия учитываемых факторов.

Метод упорядоченной классификации элементарных участков

Интегральная характеристика подверженности территории оползневому процессу по этому методу вычисляется как некоторый скрытый (внутренний) фактор по набору наблюдаемых (внешних) факторов средствами теории распознавания образов.

В общем случае дифференцированная характеристика подверженности территории оползневому процессу может быть представлена совокупностью состояний в пространстве признаков (факторов), характеризующих компоненты инженерно-геологических условий территории. Каждое состояние является отображением в пространстве признаков того или иного набора значений признаков, характеризующих выделяемые участки.

Объединением сходных состояний в однородные классы и построением тем или иным способом их упорядоченной последовательности $S_1,\dots S_p \dots\dots S_n$ вводится шкала, позволяющая сравнивать классы по обобщенной характеристике: место, занимаемое в упорядоченной последовательности классом S_p соответствует степени его подверженности оползневому процессу, измеренной в порядковой шкале. Введение метрики в пространстве эталонов классов позволяет усилить шкалу измерения степени подверженности и построить непрерывную шкалу в диапазоне значений $0 \div 1$ [1].

Математическая модель обобщенной характеристики подверженности территории записывается в виде:

$$Z_p = \frac{R_p - R_1}{R_k - R_1} \qquad (14.12)$$

при условии $R_1 \leqslant R_2 \leqslant \dots R_p \leqslant \dots R_k ; R_1 \neq R_k ;$

где: $R_p = R_1 + \sum_{i=2}^{k} d(S_{p-1}, S_p)$

Здесь Z_p – обобщенная характеристика класса S_p ; R_1 ; R_p ; R_k – расстояние в пространстве признаков от начала координат до эталонов соответствующих классов, измеренные вдоль цепи упорядочения; $d(S_{p-1}, S_p)$ – расстояние между последовательными классами S_{p-1} и S_p.

Построение упорядоченной последовательности классов $S_1 \dots S_p, \dots S_k$ может осуществляться двумя способами: а) формально, исходя из метрических свойств признакового пространства; б) с использованием косвенной информации, содержащейся в правилах предпочтения одного участка другому, которыми оперирует на практике инженер-геолог. Сформулированные принципы положены в основу моделей оценки и районирования территории, реализация которых осуществляется на ЭВМ с использованием специализированного комплекса программ, написанных на алгоритмическом языке ФОРТРАН-IV.

При оценке и районировании территории по степени подверженности оползневому процессу с использованием комплекса программ в качестве информации используются : а) значения признаков (факторов) на всех элементарных участках; б) число градаций оценочной шкалы и информация о ее равномерном или неравномерном характере. Кроме того, в зависимости от заданного режима реализации моделей могут использоваться описания на языке признаков участков максимально и минимально подверженных оползневому процессу, информация о наличии на исследуемой территории проявлений оползневого процесса; информация о системе предпочтений инженера-геолога. Предусмотрены режимы реализации основного моделирующего алгоритма с использованием априорно задаваемых весов признаков, с вычислением их по обучающим выборкам элементарных участков с максимальной и минимальной степенью подверженности, а также режима диалога

5386

"исследователь – ЭВМ". В результате расчета на ЭВМ распечатывается оценочная карта районирования территории по степени ее подверженности оползневому процессу, шкалы оценки степени подверженности и таблица статистических характеристик компонентов инженерно-геологических условий выделенных районов.

Изложенная методика прогнозной оценки и районирования территории обеспечивает: 1) использование при оценке подверженности территории оползневому процессу принципа аналогий; 2) возможность оценки территорий при недостатке информации о проявлениях оползневого процесса на данной территории; 3) гибкость в решении задач оценочного районирования территории по степени подверженности с использованием разнообразной информации об особенностях исследуемой территории и опыта специалиста; 4) возможность проработки на ЭВМ различных вариантов оценки и районирования территории в зависимости от условий конкретной задачи и исходного материала; 5) широкое, комплексное использование математических методов и ЭВМ для логико-математической обработки данных обследования территорий.

Изложенные методы опробованы для различных инженерно-геологических условий СССР (Черноморское побережье Кавказа и Крыма, Приазовье, Центральные и Северо-Восточные районы Европейской части СССР, Западная Сибирь и др.). Они могут быть использованы при любых масштабах исследований, но особенно эффективны в диапазоне масштабов 1:2 000 – 1:200 000. Достоверность результатов прогнозов вполне удовлетворительна, но во многом зависит от полноты и качества исходной информации, а также знания исследователями региональных закономерностей развития оползневого процесса.

Литература

1. Бондаренко А.А. Алгоритмизация процедур районирования и оценки инженерно-геологических условий при региональном изучении ЭГП. "Вопросы изучен. и прогноза экзоген. геол. процессов". Труды ВСЕГИНГЕО, 1983, вып.153, с.18-27

2. Гулакян К.А., Кюнтцель В.В., Постоев Г.П. Прогнозирование оползневых процессов. М.: Недра, 1977, 135 с.

3. Кюнтцель В.В. Региональная унаследованность оползневого процесса. Труды ВСЕГИНГЕО, 1980, вып.134, с.14-18

4. Пальшин Г.Б., Островский А.Б., Осипов А.Е. О принципах районирования и прогноза оползневых явлений в горноскладчатых районах (на примере Черноморского побережья Западного Кавказа. "Проблемы инж. геологии Сев. Кавказа". Ставрополь: 1971, вып.3, с.6-20

5. Современные геологические процессы на Черноморском побережье СССР. Ред. А.И.Шеко. М.: Недра, 1976, 184 с.

Глава 15

ВРЕМЕННОЙ ПРОГНОЗ ПРОЯВЛЕНИЯ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ

1. О цикличности в природе

В предыдущих главах мы уже рассматривали вопросы цикличности в развитии оползневых и селевых процессов, а также факторов, определяющих их развитие. Перед тем как приступить к изложению методологических основ прогнозов развития оползневых и селевых процессов во времени, представляется целесообразным рассмотреть вопросы цикличности в более широком аспекте и попытаться установить те причины, которые обусловливают повторяемость явлений в природе.

Впервые Е.Брикнером была установлена цикличность в изменении климатических условий продолжительностью около 35 лет. В настоящее время циклический (ритмический) характер проявления различных природных процессов на Земле можно считать доказанным. Цикличность в проявлении природных процессов следует рассматривать как поступа-

тельное спиральное развитие ландшафтной оболочки. Ю.И.Возовик [3] предлагает системы, в которых события повторяются с одинаковыми значениями, подразделять на три группы: а) периодические, б) циклические и в) ритмические. В периодических процессах идентичные состояния системы отделяются равными интервалами времени. Под циклическим развитием понимается такое изменение системы во времени, при котором она возвращается в идентичное, уже имевшее место в прошлом состояние, через любой интервал времени. Ритмическое развитие процессов характеризуется закономерными (через одинаковые интервалы времени) изменениями соизмеримых элементов в системе.

Природные процессы в большинстве случаев характеризуются циклическим ходом развития. Продолжительность циклов колеблется в широких пределах от суток до миллионов и более лет. Краткий обзор о продолжительности различных циклов приведен в работах Г.К.Тушинского [15], Ю.И.Возовика [3], Е.В.Максимова [11] и др. При этом следует различать циклы общих планетарных изменений и циклы, проявляющиеся в отдельных регионах. Например, В.Б.Шестакович [3] обнаружил закономерное чередование толщины годичных слоев в озерных отложениях с интервалом 3, 6, 11, 30 и 165 лет. Этот же исследователь аналогичные циклы выявил в ряде иных биологических и геофизических явлений. Другими исследователями при анализе древних озерных отложений других районов обнаружены циклы продолжительностью 22, 80, 330, 1 000 лет [3].

О.А.Дроздов и А.С.Григорьева провели анализ цикличности атмосферных осадков и выявили, что для различных регионов существует свой набор циклов. Для Архангельска они выделили следующие циклы осадков за холодное время: 2–3, 22, 60; а для теплового периода года: 3–4, 6–7 и 40 лет [5].

На основе анализа увлажненности северного полушария А.В.Шнитниковым [18] был установлен цикл планетарных климатических изменений продолжительностью в среднем 1850 лет. В.А.Зубаковым и Н.Н.Красновым [3] выделены общепланетарные циклы продолжительностью $1{,}1\text{–}2.20^3$; $3\text{–}4.10^3$; $12(14)\text{–}22(24).10^3$; $30\text{–}40.10^3$ и $60\text{–}80.10^3$ лет. Особенно большой материал получен в последние годы при изучении горного оледенения. Это позволило выявить следующие основные циклы в развитии горных ледников: 80–90, 160–180, 283, 567, 1 133, 1 700, 3 400, 20 400 и 40 800 лет [7,8]. Е.В.Максимов [11] установил цикличность развития горных ледников в плейстоцене. Он считает, что стадийность дегляциации горных ледников связана с 1 850-летним циклом, а оледенения – с планетарными климатическими изменениями повторяемостью через 40 800 лет.

Г.Ф.Лунгерсгаузен [10] в тектоническом развитии Земли выделил следующие циклы: $20\text{–}25.10^6$, $38\text{–}45.10^6$, $180\text{–}200.10^6$, 400.10^6 лет.

Развитие ландшафтной оболочки Земли вообще, и экзогенных геологических процессов в частности, происходит под воздействием внешней среды и внутренних сил. При этом Земля должна рассматриваться как космическое тело, находящееся в солнечной системе, в галактике и, наконец, во вселенной. Одной из основных причин, обусловливающих изменения в развитии ландшафтной оболочки, являются изменения приливообразующих сил, которые определяются положением Земли в этих системах. На это в свое время обращал внимание В.И.Вернадский (1944 г.). В частности, он отмечал существенное влияние на земные процессы сил всемирного тяготения.

Наибольшее влияние на ход развития земных процессов оказывает деятельность Солнца. В настоящее время еще не изучен механизм воздействия солнечной деятельности на земные процессы. Несомненно, что это воздействие очень сложно и многообразно и, прежде всего, оно осуществляется через наиболее подвижную оболочку Земли – атмосферу. Активизация солнечной деятельности существенно нарушает зональность циркуляции, усиливается меридиональный перенос воздушных масс. Это вызывает, в свою очередь, значительные климатические изменения [18]. А.Л.Чижевский [16] установил, что солнечная деятельность существенно влияет на живые организмы, особенно на микроорганизмы. С солнечной деятельностью также связаны в значительной степени и природные процессы, оказывающие воздействие на состояние и здоровье человека. В частности, с усилением солнечной активности увеличивается смертность от инфаркта миокарда. И.П.Дружинин и Н.В.Хамьянова [6] провели статистический анализ различных природных процессов на Земле и установили, что значительная часть переломов в ходе развития их связана с изменением солнечной активности. А.А.Коноплянцев [9] выявил

закономерности колебания уровня грунтовых вод в связи с солнечной активностью. Впервые цикличность в проявлении селей в Средней Азии подметил Т.М.Мустафакулов [13]. Им выделены циклы длительностью 6, 11 и 22 года.

Можно считать, что циклический характер развития свойственен всем природным процессам. Это положение находит подтверждение в трудах третьего совещания по ритмике природных явлений, состоявшегося в конце 1976 г. в Ленинграде.

В солнечной активности также наблюдается цикличность. Наиболее четко выражены 11-летний и вековой циклы. Основные параметры 11-летнего солнечного цикла приведены в табл.15.1.

Таблица 15.1

Продолжительность 11-летнего солнечного цикла (по данным Вольдмайера, 1750-1958 гг.)

Характеристика	Среднее значение	Диапазон значений
Период между максимумами (годы)	10,9	7,3-17,1
-"- -"- минимумами (годы)	11,1	9,0-13,6
Ветвь роста (годы)	4,5	2,9-6,9
-"- спада (годы)	6,5	4,0-10,2
Максимальное число пятен (по Вольфу)	108,2	48,7-201,3
Минимальное -"- -"-	5,1	0-11,2

11-летний цикл солнечной активности по длительности и фазе совпадает с периодом обращения Юпитера вокруг Солнца [6]. По всей вероятности, этот цикл обусловлен изменениями приливообразующих сил от других планет, в первую очередь Сатурна. В табл.15.2 приведены максимальные приливообразующие силы от различных планет солнечной системы на Солнце, заимствованные из работы И.В.Максимова [12].

Таблица 15.2

Максимальные приливообразующие силы от различных планет солнечной системы на Солнце

Планеты	Максимальная величина приливообразующей силы, г.см/с^2	Главный период параллактического прилива (годы)	Планеты	Максимальная величина приливообразующей силы, г.см/с^2	Главный период параллактического прилива (годы)
Нептун	0,04	164,8	Марс	1,84	1,9
Уран	0,13	84,0	Земля	58,6	1,0
Сатурн	6,33	29,5	Венера	125,4	0,6
Юпитер	133,8	11,9	Меркурий	935	0,2

Из приведенных в табл.15.2 данных видно, что наибольшие приливообразующие силы на Солнце от планет солнечной системы возникают от Меркурия, Юпитера и Венеры. Но периоды обращения Меркурия и Венеры вокруг Солнца очень малы. В связи с этим они могут вызывать на Солнце только пульсирующие воздействия, которые проявляются в течение года и поэтому оказываются незаметными в многолетнем ходе. Колебания длительности 11-летнего цикла, по-видимому, обусловлены длительностью главных периодов параллактических приливов не только Юпитера, но и других планет солнечной системы. Не исключено также воздействие и других космических тел нашей галактики. А.П.Резниковым [14] выполнен математический анализ всего ряда наблюдений чисел Вольфа и подтверждено влияние на активность солнечных процессов приливообразующих сил планет солнечной системы. При этом доказано, что основное влияние оказывает Юпитер.

При исследовании солнечно-земных связей следует также иметь в виду наличие в солнечной деятельности 22-летнего цикла. Впервые доводы о существовании этого цик-

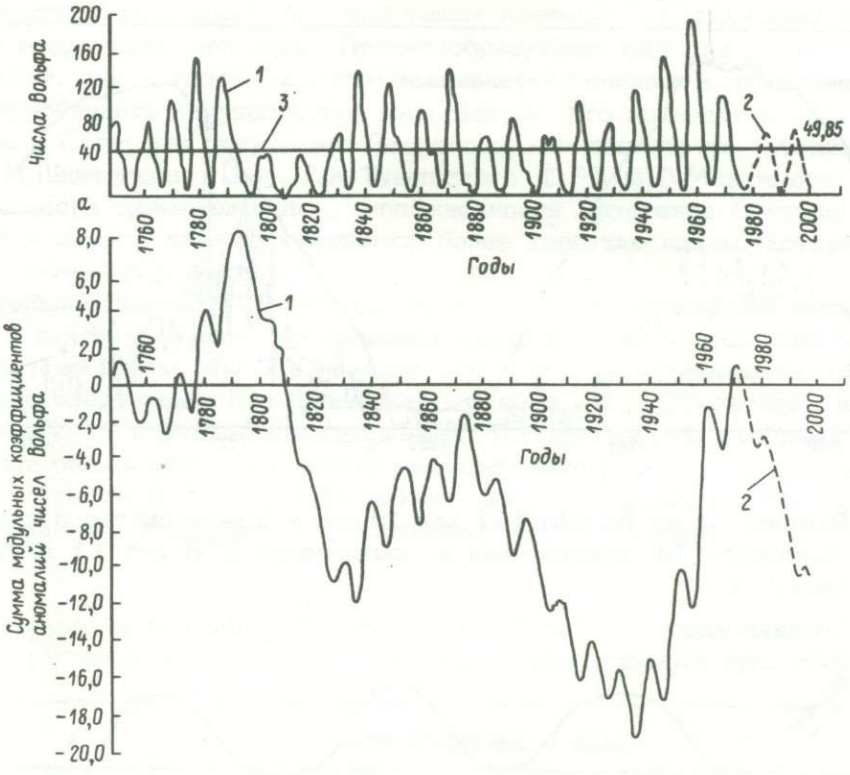


Рис.15.1. Графики изменения солнечной активности в числах Вольфа: а – многолетний ход чисел Вольфа, б – интегральная кривая модульных коэффициентов аномалий чисел Вольфа. Значения: 1 – наблюденные, 2 – прогнозные, 3 – среднее (49,85), за 223 года

ла были приведены Вольфом, а позднее Тернером [2]. Однако реальность этого цикла была признана только после открытия Хэлом закона изменения полярности магнитного поля пятен в соседних 11-летних циклах. 22-летний цикл является циклом качественных изменений. Этот цикл следует рассматривать как изменение полярности магнитного поля и начинается он с четного 11-летнего цикла.

Продолжительность векового солнечного цикла в настоящее время установлена предварительно, так как имеется всего три наблюденных максимальных и два минимальных экстремума. Однако большинство исследователей, изучавших этот цикл (Е.В.Максимов, Н.П.Смирнов, М.С.Эйгенсон и др.) считают, что его продолжительность находится в пределах 70-100 лет. В.М.Рубашев длительность этого цикла определяет в 93 года.

За весь период наблюдений (с 1749 г.) четко выделяются три вековых цикла изменения солнечной активности (рис.15.1).

Абсолютные максимумы цикла № 1 наблюдались в 1778 г., № 2 – в 1870 г., № 3 – в 1957 г., а минимумы – в 1810 и 1913 гг. Длительность периода между пиками циклов № 1 и 2 – 92 года, № 2 и 3 – 88 лет, а между вековыми минимумами – 103 года. Продолжительность ветвей спадов равна: цикла № 1 – 32 года, цикла № 2 – 43 года, а продолжительность ветвей роста соответственно 60 лет и 43 года. Обращает на себя внимание резкая асимметрия ветвей спада и подъема между циклами № 1 и 2. На том же рисунке приведена интегральная кривая аномалий средних значений чисел Вольфа. На этой кривой вышеописанные вековые циклы выражены более четко, но экстремальные значения оказались сдвинутыми. Максимумы этих циклов соответственно наблюдались: № 1 – в 1973 г., № 2 – в 1873 г., № 3 – в 1972 г., а минимумы – в 1833 и 1935 гг. Запаздывания минимальных экстремальных значений аномалий составляют 23 и 22 года, а максимальных экстремумов соответственно – 15, 3 и 15 лет. Длительность вековых циклов по интегральной кривой составляет между максимальными экстремумами № 1 и 2 – 80 лет, № 2 и 3 – 99 лет, между минимальными экстремумами – 100 лет без учета первого минимального экстремума, который наблюдался в 1766 г. Ветвь спада первого векового цикла равна 40 годам (1793-1833 гг.). Ветвь роста цикла № 2 составила 39 лет, ветвь спада 60 лет (1874-1933 гг.), ветвь роста цикла № 3 – 39 лет.

А.А.Гирс [4], основываясь на мнении специалистов и анализе некоторых метеороло-

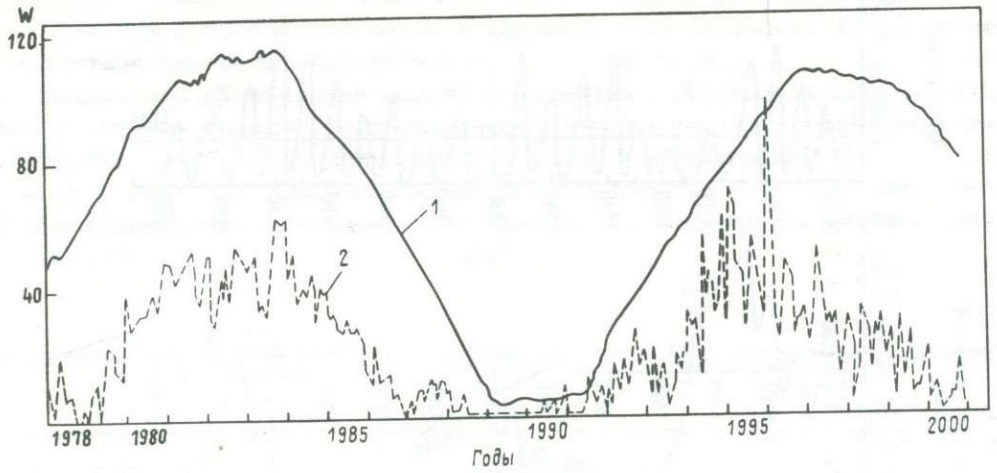


Рис.15.2. Прогноз чисел Вольфа (1) для 21-го и 22-го циклов и реализация циклов аналогов (2), построенная со смещением 178 лет 11 месяцев (по А.П.Резникову)

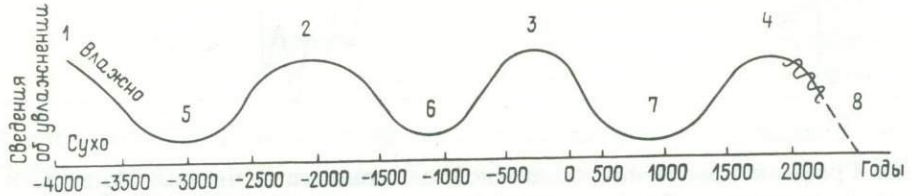


Рис.15.3. Схема ритмов увлажненности (по Г.К.Тушинскому): 1-4 эпохи влажного климата, 5-8 - эпохи сухого климата

гических элементов в различных районах северного полушария, допускает, что ветвь спада цикла № 3 будет аналогична ветви спада цикла № 1 (с максимумом на интегральной кривой в 1793 г.), а ветвь роста цикла № 4 соответственно будет аналогична ветви роста векового цикла № 2 (с максимумом в 1873 г.). Следует отметить, что такая аналогия не совсем корректна, так как : она не учитывает 1850-летний цикл. Поэтому возможны некоторые отклонения. Исходя из вышеизложенного, ветвь спада векового солнечного цикла № 3 должна быть крутой, продолжительность ее по абсолютным значениям среднегодовых чисел Вольфа будет составлять 30-35 лет, а по интегральной кривой аномалий около 40 лет. Минимум абсолютных значений будет наблюдаться в 1988-1995 гг., а минимум на интегральной кривой - около 2012 г. Можно высказать также предположения и о времени максимума векового цикла № 4. На интегральной кривой аномалий он должен наблюдаться около 2050 г., а максимальный экстремум абсолютных значений примерно в 2047-2050 гг.

А.П.Резников на основе корреляционно-регрессионного анализа утверждает, что в наблюденном ряде существует наибольшая аналогия между 1-ым и 17-ым, 2-ым и 18-ым, 3-им и 19-ым, 4-ым и 20-ым 11-летними циклами. Наибольший коэффициент корреляции наблюдается при сдвиге 16 циклов. Это также хорошо согласуется с кривой изменения барического радиуса, которая полностью повторяет саму себя во времени через 178 лет 11 месяцев [14]. Это позволило А.П.Резникову дать прогноз солнечной активности на 21-й и 22-й 11-летние циклы (рис.15.2).

В табл.15.3 приведены продолжительности различных частей 21-го и 22-го циклов, составленные нами в 1975 г. на основе обобщения и анализа опубликованных прогнозов солнечной активности [17]. Данные, приведенные на рис.15.2 и в табл.15.3, довольно хорошо согласуются между собой.

Цикл продолжительностью 1 850 лет обусловлен взаимным расположением Солнца, Земли и Луны. В моменты констелляции, т.е. когда эти три космических тела Солнечной системы находятся в одной плоскости и на одной прямой, происходит наибольшее нарушение гравитационной силы Земли под влиянием Солнца и Луны. Последнее положение констелляции было в XV в., предыдущее - в IV в до н.э., следующее ожидается в

XXXIV в. Л.Петтерсон считает, что при таком взаимном расположении Солнца, Земли и Луны сильно возрастают приливы. Приливообразующие силы на Земле от Солнца и Луны суммируются, что в конечном счете вызывает изменения в атмосферной циркуляции – начинают преобладать меридиальные макроформы, что приводит к общему похолоданию и увлажнению в Северном полушарии. Это положение достаточно убедительно изложено в работах А.В.Шнитникова [18], Г.К.Тушинского [15], Е.В.Максимова [11]. На рис.15.3 приведена схема ритмов увлажненности материков Северного полушария. На фоне 1850-летнего цикла проявляются более короткие циклы, которые, видимо, также имеют планетарный характер.

Цикл длительностью 40 700 лет совпадает с периодом наклона эклиптики. Макропроцесс этого цикла в главных проявлениях аналогичен ходу облучения Земли, вычисленному М.Миланковичем. 40 700-летний цикл, по всей вероятности, обусловливает основные эпохи оледенения. Климатическая сущность 40 700-летнего цикла прежде всего заключается в термических изменениях. Положительным экстремумам макропроцесса отвечают общепланетарные похолодания, отрицательным – общепланетарные потепления. Е.В.Максимов считает, что ритмы продолжительностью 40 700 и 1 850 лет являются основными, создающими принципиальную схему изменчивости ледников.

Таблица 15.3

Продолжительность различных частей 21 и 22-го солнечных циклов, принятая в расчетах при сверхдолгосрочных и долгосрочных прогнозах

Эпохи солнечного цикла								
ЧА			РС			ММ		
Четверти	Годы	Продолжительность	Ветви РС	Годы	Продолжительность	Макс. и мин.	Годы	Продолжительность
			21-й цикл					
I	1977-1980	4	Р	1977-1984	8	Мин.	1973-1980	8
II	1981-1984	4						
III	1985-1987	3						
IV	1988-1989	2	С	1985-1989	6	Макс.	1981-1987	7
			22-й цикл					
I	1990-1992	2,5	Р	1990-1994	5	Мин.	1988-1992	5,5
II	1992-1994	2,5						
III	1995-1997	2,5						
IV	1998-2000	2,5	С	1995-2000	5	Макс.	1994-1997	4,5

Цикличность наблюдается также и в тектонической деятельности. Установлено, что вспышки сейсмической активизации происходят через 23,2 года (при средней квадратической ошибке 6,4 года). В тектонической деятельности наблюдаются и более длительные циклы. Имеются сведения, что тектоническая активность связана с 1 850- и 40 700-летними ритмами. Наблюдается также связь тектонических движений и покровных оледенений.

Все вышеизложенное подтверждает, что природные процессы, развивающиеся на зем-

5386

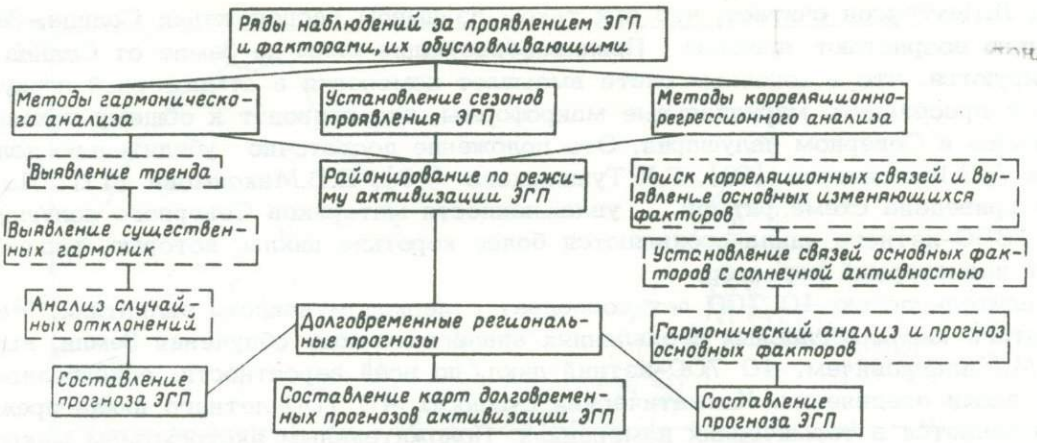


Рис.15.4. Технологическая схема долговременных региональных прогнозов экзогенных геологических процессов

ной поверхности. взаимосвязаны и обусловлены большим числом факторов, среди которых космические играют, видимо, основную роль.

2. Долговременные прогнозы

По заблаговременности предсказания долговременные прогнозы экзогенных геологических процессов, в том числе оползней и селей, следует подразделять на сверхдолгосрочные (в пределах векового солнечного цикла, до 100 лет) и долгосрочные (в пределах 11-летнего солнечного цикла, 10-15 лет). При их составлении учитывается общая тенденция развития того или иного геологического процесса, установленная на основе анализа геологического развития и крупных климатических изменений в пределах 1 850-летнего цикла.

Общая технологическая схема составления долговременных региональных прогнозов приведена на рис.15.4. Суть ее заключается в следующем. На основе анализа временных рядов проявления экзогенных геологических процессов и факторов, их обусловливающих, выявляются закономерности развития оползней и селей во времени и пространстве, устанавливаются быстроизменяющиеся (независимые и зависимые) факторы, а также теснота связи между геологическими процессами и факторами. Затем проводится районирование территории по режиму активизации экзогенных геологических процессов (оползней и селей) с выделением временных зон. Под временной зоной понимается территория, которая характеризуется одинаковым режимом изменения быстроизменяющихся факторов, определяющих развитие того или иного генетического типа экзогенных геологических процессов. По размерам территории и по мере сходства режима факторов временные зоны могут быть подразделены на разные порядки.

Во временных зонах первого порядка режим факторов должен резко отличаться между собой. Например, для Черноморского побережья СССР установлено, что наиболее крупные эпохи повышенной увлажненности наступают единовременно на всей территории. Это обусловлено однородным характером макропроцессов атмосферной циркуляции над этой территорией. Однако наблюдаются различия в количестве осадков, режиме их выпадения, а также в многолетнем ходе годового количества осадков. По характеру изменений многолетнего хода годового количества осадков, что хорошо видно на графиках, приведенных в главе 8 (рис.8.1 и 8.2), на Черноморском побережье СССР можно выделить три крупные временные зоны первого порядка: Северо-Западное побережье, Крымское побережье и Кавказское побережье. Каждая из выделенных зон первого порядка подразделяется по особенностям режима увлажненности на зоны второго и третьего порядка.

На Кавказском побережье по характеру многолетнего хода годового количества осадков выделены три зоны второго порядка: южный склон Большого Кавказа, Колхида и Малый Кавказ. В свою очередь, на южном склоне Большого Кавказа можно выделить две зоны третьего порядка: северо-западную и юго-восточную части. Северо-западная

часть южного склона Большого Кавказа характеризуется достаточно высокой однородностью многолетнего режима увлажненности. Это подтверждается высокими коэффициентами корреляции между рядами годового количества осадков в различных пунктах. Однако, хотя экстремумы увлажненности наступают в одни и те же годы, величина годового количества осадков для различных пунктов этой зоны будет неодинакова: в прибрежной части меньше, чем в приводораздельной. По этому признаку северо-западная часть южного склона Большого Кавказа может быть подразделена на две зоны четвертого порядка: прибрежная территория, для которой прогноз изменения увлажненности дается по метеостанции г.Сочи и горная территория с опорной метеостанцией в п.Красная Поляна (СССР). Подобное разделение производится и для других зон первого порядка. Для каждой временной зоны составляется прогноз основных быстроизменяющихся факторов. Затем на основе этого прогноза и анализа проявления экзогенных геологических процессов для каждого инженерно-геологического района с учетом пораженности его тем или иным процессом дается прогноз оползней и селей в виде периодов активизации этих процессов.

Результаты прогнозов отображаются на специальной инженерно-геологической карте прогнозов активизации оползней и селей в масштабе 1:200 000 - 1:500 000, на которой показывается режим развития данного генетического типа экзогенного геологического процесса на заданный период времени. Особенности составления прогнозов двух категорий - сверхдолгосрочных и долгосрочных - рассмотрены ниже.

Сверхдолгосрочные прогнозы

При составлении сверхдолгосрочных прогнозов используется комплекс тех же методов, которые применяются и для анализа проявления экзогенных геологических процессов и факторов, их обусловливающих, и установления между ними корреляционных связей (анализ по частям 11-летнего солнечного цикла, по интегральным кривым аномалий, гармонический и корреляционно-регрессионный анализы).

Прогноз на основе анализа по частям 11-летнего солнечного цикла

На основе выявленных циклов проявления оползней и селей разных порядков, экстремумы которых приурочены к различным частям 11-летнего солнечного цикла, делается экстраполяция на последующие 50-100 лет. В том случае, если ряды наблюдений за проявлением геологических процессов короткие, на основании сопоставления графиков проявления оползней и селей и быстроизменяющихся факторов, их обусловливающих, построенных по частям 11-летнего солнечного цикла, устанавливаются связи между ними. Затем на основе экстраполяции графиков быстроизменяющихся факторов делается прогноз данного генетического типа ЭГП. Поясним это на конкретных примерах.

Пример 1. На рис. 3.9 (глава 3) изображены графики проявления селей на правобережье р.Сырдарьи (СССР). На этих графиках наиболее четко выражены циклы IV порядка продолжительностью по ЧА-29-30 лет, по ММ - 31 год, по РС - 29-30 лет. Максимальные экстремумы приурочены на графиках ЧА - к третьим четвертям 11-летнего цикла, на графиках ММ - к эпохам максимумов, на графиках РС - к ветвям спада. Первый экстремум находится в 16-ом, а второй в 19-м солнечных 11-летних циклах. Оба экстремума цикла четвертого порядка располагаются на ветви роста векового солнечного цикла: первый в самом начале, второй совпадает с вековым максимумом абсолютных значений чисел Вольфа. Судя по графикам, изображенным на том же рисунке, выдающийся экстремум активизации, видимо, наблюдался также в 13-м или 12-м 11-летних солнечных циклах.

Если предположить, что распределение активности селей на ветви спада векового солнечного цикла будет аналогично тому, которое наблюдалось на ветви роста, то наиболее сильную активизацию следует ожидать в эпоху максимума 22-го или 23-го одиннадцатилетних солнечных циклов. Эпоха слабого проявления селей, соответствующая циклам III порядка селей, должна была наблюдаться в 1970-1976 гг. Начиная с 1976 г. ожидалась тенденция усиления активности селевых процессов, которая будет продолжаться до 22-го или до 23-го цикла. Как показала проверка, прогноз в основ-

ном подтвердился. На фоне общего усиления селевой активности будут проявляться более короткие циклы (в основном 1 порядка продолжительностью 5-6 лет). С вероятностью 0,8 можно предполагать, что экстремумы усиления будут наблюдаться в I-III четвертях последующих 11-летних циклов.

Пример 2. На рис.3.10 (глава 3) приведены графики проявления селей по частям 11-летнего цикла для Армянской ССР. На этих графиках четко выявляется вековой ход активности проявления селей, который хорошо согласуется с вековым ходом солнечной активности. Вековой максимальный экстремум активизации селевых процессов совпадает с вековым экстремумом солнечной активности. На графиках ЧА, ММ и РС четко выражены циклы II порядка. Эпохи наиболее сильной активности селевых процессов в 7 случаях приурочены: три случая - к третьей и один случай - к первой четверти солнечного 11-летнего цикла. Следует отметить, что экстремум, приуроченный к первой четверти, расположен в 15-ом солнечном цикле (1914-1915 гг.), когда не был хорошо организован учет проявления селей. На графике ММ из четырех экстремумов активности селевых процессов три приурочены к эпохам максимума солнечной активности в 11-летнем цикле, а на графике РС практически все экстремумы активности селей находятся на ветви роста, за исключением последнего экстремума, который занимает весь 9-й цикл.

Из анализа графиков проявления селей следует, что для Армянской ССР в эпохи максимумов солнечной активности в нечетные циклы характерна, видимо, более сильная активность селевых процессов, чем в четные. Это,в свою очередь,согласуется с тем, что солнечная активность в нечетном цикле, следующем за четным, обычно выше, чем в последнем. Таким образом, косвенным путем устанавливается прямая зависимость активности селевых процессов от солнечной активности на ветви роста векового солнечного цикла, на ветви спада могут выявиться другие закономерности.

В настоящее время не совсем ясно, каким образом будет распределена активность селей на ветви спада векового солнечного цикла. Можно предполагать, что экстремумы циклов II порядка будут приурочены к эпохам максимумов солнечного 11-летнего цикла, по крайней мере, в 20 и 21 циклах. При этом, активизация в 21-м цикле должна быть больше, чем в 20-м цикле. Таким образом, на фоне векового ослабления активности селевых процессов в Армении будут наблюдаться периоды их активизации в эпоху максимумов 11-летнего солнечного цикла. С конца XX - начала XXI веков наступит период постепенного увеличения селевой активности на ветви роста векового солнечного цикла. Этот период усиления активизации будет продолжаться примерно до середины следующего столетия.

Прогноз на основе сопоставления интегральных кривых

Этот метод прогноза основан на анализе интегральных кривых аномалий проявления экзогенных геологических процессов и сопоставления их с интегральными кривыми аномалий быстроизменяющихся факторов, солнечной активности и определенных типов атмосферной циркуляции (по Вангенгейму-Гирсу или Дзердзеевскому).

На основе анализа интегральных кривых аномалий активности проявления селевых процессов установлены основные закономерности ее изменения для основных селеопасных регионов Советского Союза. При этом выявлено, что общий ход интегральных кривых аномалий солнечной активности и активности селевых процессов в названных районах аналогичны между собой (рис. 11, глава 3). Следует отметить, что это согласуется также с ходом интегральных кривых аномалий годового количества осадков для Черноморского побережья Кавказа. Минимум интегральной кривой аномалий солнечной активности, выраженной в числах Вольфа, видимо, будет наблюдаться в первом десятилетии (наиболее вероятно в его конце) будущего столетия. Поэтому вековая тенденция селевой активности до конца этого столетия в этих регионах должна снижаться. Однако в эпоху векового минимума солнечной активности, особенно для районов Средней Азии (СССР), наблюдается активизация селевых процессов. На правобережье р.Сырдарьи резкие положительные аномалии в активности селей наблюдались в самом конце ветви спада векового цикла интегральной кривой аномалий солнечной активности (1924-1934 гг.). Максимальный экстремум на интегральной кривой аномалий активности се-

лей в этом районе наблюдался в 1934 г., что соответствует минимальному экстремуму на интегральной кривой аномалий солнечной активности.

В связи с изложенным, следующий период сильных положительных аномалий активизации селей следует ожидать в конце этого и в начале следующего столетия. Эта активизация может достигнуть уровня той, которая наблюдалась в эпоху векового максимума солнечной активности, но продолжительность этого периода будет меньше. После сравнительно короткого периода резкого снижения активности селевых процессов наступит тенденция длительного увеличения активности на ветви роста векового цикла интегральной кривой аномалий солнечной активности. На фоне общего спада, а затем подъема интегральной кривой селевой активности будут наблюдаться более короткие периоды. Исходя из анализа интегральной кривой аномалий проявления селей на территории Армянской ССР (рис.3.10 гл.3) следует, что активность селевых процессов, видимо, до конца XX века будет испытывать тенденцию к ее снижению, затем после небольшого периода низкого ее значения будет наблюдаться ее усиление с некоторыми колебаниями до середины следующего столетия.

В тех случаях, когда имеются только короткие ряды наблюдений за проявлением ЭГП, но установлены достаточно тесные корреляционные связи с каким-либо изменяющимся фактором или с типом атмосферной циркуляции, или с солнечной активностью, сверхдолгосрочный прогноз может быть дан на основе интегральной кривой аномалий этого фактора, или типа атмосферной циркуляции, или солнечной активности. Например, для Черноморского побережья установлено, что активность оползней, особенно развитых в четвертичных отложениях, удаленных от береговой полосы, имеют достаточно тесную связь (часто со сдвигом на один год) с годовым количеством осадков. На Кавказском побережье интегральные кривые аномалий годового количества осадков имеют ход, аналогичный интегральной кривой аномалий солнечной активности, с небольшим максимумом, который соответствует вековому минимуму на последней. В связи с этим, на Кавказе наибольшая активность оползневых процессов будет наблюдаться в период, соответствующий ветви роста векового цикла интегральной кривой аномалий солнечной активности, а наименьшая на ветви спада. Некоторое усиление активности оползневых процессов также будет наблюдаться в эпоху векового минимума интегральной кривой солнечной активности.

В тех случаях, когда не наблюдается близкой аналогии интегральных кривых аномалий годового количества осадков и солнечной активности, не будет наблюдаться больших различий в активности оползневых процессов в эпохи, соответствующие вековым максимумам и минимумам интегральной кривой солнечной активности, как это имеет место в Крыму. Максимум на интегральных кривых годового количества осадков в этом районе, соответствующий вековому минимуму на интегральной кривой солнечной активности, по своей величине близок к максимумам, соответствующим максимумам интегральной кривой аномалий солнечной активности.

Прогноз на основе гармонического анализа

Достоинство гармонического анализа заключается в том, что для прогнозирования не требуется знаний факторов, которые обусловливают развитие ЭГП, т.к. предполагается, что влияние всех факторов в интегральной форме заложено в самом отрезке временного ряда, на котором производится обучение модели. Поэтому интервал обучения должен выбираться таким образом, чтобы отражал основные особенности ряда. Заблаговременность прогноза по этой модели зависит от длины наблюденного ряда и не должна превышать 1/3 его длины.

На рис.15.5 изображен прогноз активности селевых процессов на правобережье р.Сырдарьи, рассчитанный на ЭВМ с использованием модели (см.рис. 8.3 гл.8). При составлении прогноза был использован ряд длиной 51 год. Из исходного ряда был извлечен тренд, который представлен полиномом 4 степени. При этом было выделено 8 существенных гармоник. Характеристика этих гармоник приведена в табл.15.4.

При составлении прогноза были заданы следующие параметры: число членов исходного ряда $n = 51$, заблаговременность прогноза $Q = 15$ лет; период начальной гармоники $T_н = 3$ года; период конечной гармоники $T_{кон.} = 30$ лет; шаг изменения периода 1 год.

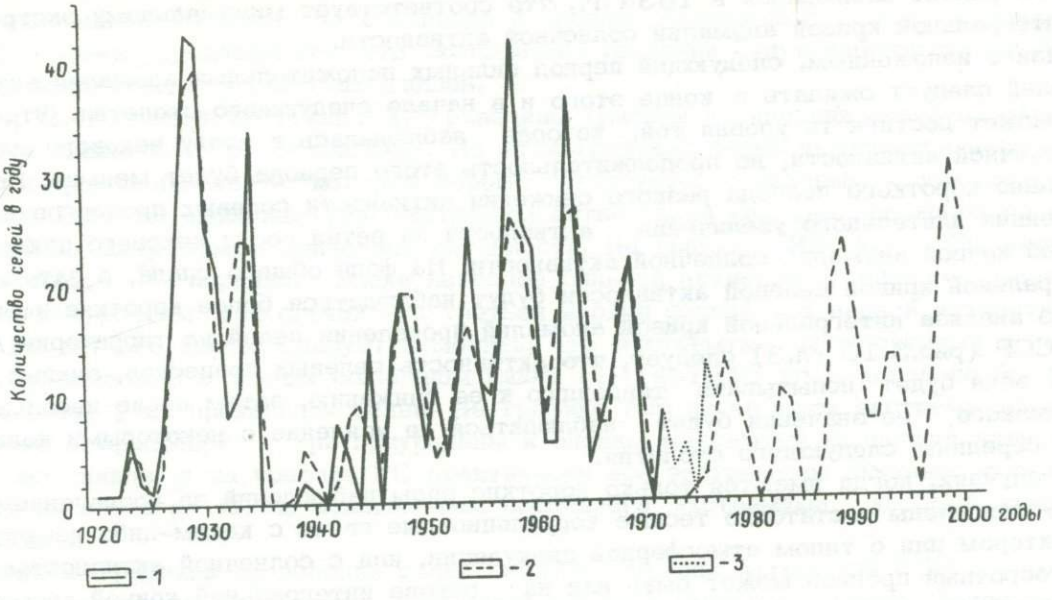


Рис.15.5. Эпигноз и прогноз проявления селей на правобережье р.Сырдарьи и в бассейне р.Нарына (Средняя Азия). Количество селей в году: 1 – наблюденное (с 1920 по 1972 гг.); 2 – прогнозное; 3 – фактическое после выдачи прогнозов (1973-1976 гг.)

Как видно из графиков (рис.15.5), эпигноз достаточно хорошо совпадает с исходным рядом. Наиболее сильная активизация ожидается в 1997-2000 гг. и в 1987-1990 гг., усиление активности также ожидалось в 1977-1980 гг. и 1983-1984 гг. Как показала проверка, в течение 5 лет прогноз достаточно хорошо оправдался. Усиление активности началось в 1976 г., а в 1978 г. была отмечена сильная активность селевых процессов. В дальнейшем точность прогнозов должна снижаться, поэтому со временем необходимо проводить их уточнение на основе новых данных.

Таблица 15.4

Характеристика существенных гармоник после выделения тренда, описываемого полиномом 4-й степени, для правобережья р.Сырдарьи, СССР

№ гармоник Параметры	1	2	3	4	5	6	7	8
T	5	6	7	10	12	14	18	24
A	7,2	3,5	3,8	3,3	3,6	3,4	3,4	3,1
φ	4,6	2,1	0,65	5,6	6,6	5,3	3,5	2,0

Примечание: T – период гармоник, A – амплитуда гармоники, φ – сдвиг фаз.

Долгосрочные прогнозы

Долгосрочные прогнозы, как уже отмечалось, должны составляться на срок до 10-15 лет. При составлении этих прогнозов могут быть использованы следующие методы: а) анализ по частям 11-летнего солнечного цикла; б) гармонический анализ и в) корреляционно-регрессивный анализ. Анализ интегральных кривых аномалий проявления экзогенных геологических процессов и факторов, их обусловливающих при этом виде прогноза, применяется как вспомогательный метод для установления общей тенденции изменения активности развития процесса.

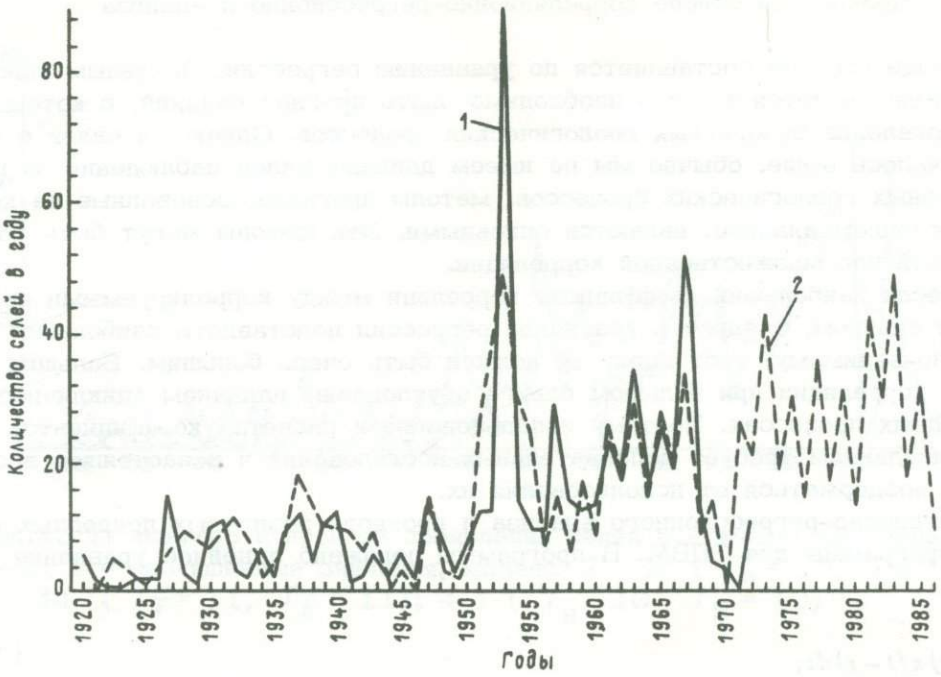


Рис.15.6. Эпигноз и прогноз проявления селей на Кавказе (без Армении) $T_н$ = 1 год, Q = 15 лет, $T_{кон}$ = 30 лет. Количество селей в году: 1 – наблюденное, 2 – прогноз и эпигноз

Прогноз на основе анализа по частям 11-летнего солнечного цикла

В отличие от сверхдолгосрочных прогнозов используются, в основном, циклы первого порядка, которые наиболее четко проявляются на графиках ЧА. Большое значение приобретает анализ вероятностей приуроченности экстремумов к различным четвертям 11-летнего солнечного цикла.

Например, на правобережье р.Сырдарьи вероятности приуроченности экстремумов активности селей по четвертям составляют I -0,36; II -0,18; III -0,36; IV -0,1. С одинаковой вероятностью сели могут проявляться в I и III четвертях. Вероятность наибольшей активности селей будет в этих двух четвертях составлять 0,72 (рис.3.9, гл.3). Если экстремум активности селевых процессов не наблюдался в I четверти, то вероятность того, что он будет во II четверти, уже составляет 0,54, в III четверти – 0,9. Анализ графиков проявления селей в этом районе по ЧА показывает, что активизация селей здесь наблюдается обычно через одну четверть солнечного цикла. Этот вывод также подтверждается анализом автокорреляционной функции. Наибольший коэффициент автокорреляции наблюдается при сдвиге 5 лет. Таким образом, положительные экстремумы проявления селей на правобережье р.Сырдарьи в 21-м цикле с наибольшей вероятностью должны быть в I (1976-1980 гг.), что и подтвердилось, а также в III (1985-1987 гг.) четвертях.

Прогноз на основе гармонического анализа

В отличие от сверхдолгосрочных, при долгосрочных прогнозах на основе гармонического анализа начальный период ($T_н$) должен быть уменьшен до 1 года. На рис.15.6 в качестве примера приведен долгосрочный прогноз проявления селей на Кавказе (без Армянской ССР). При этом были приняты следующие параметры: число членов ряда: N = 51 год (1920-1970), начальный период $T_н$ = 1 год; конечный период $T_{кн.}$ = =40 лет, амплитуда гармоник $A_п$ = 2, заблаговременность Q = 15 лет.

В этом случае прогноз составляется по уравнению регрессии. Основным недостатком этого метода является то, что необходимо знать прогноз явлений, с которыми коррелируется проявление экзогенных геологических процессов. Однако, в связи с тем, что, как отмечалось выше, обычно мы не имеем длинных рядов наблюдений за проявлением экзогенных геологических процессов, методы прогноза, основанные на корреляционно-регрессионном анализе, являются основными. Эти методы могут быть построены на основе парной или множественной корреляции.

В случае, если наибольший коэффициент корреляци между коррелируемыми явлениями наблюдался со сдвигом, следует в уравнение регрессии подставлять наибольшее значение. Однако, по-видимому, этот сдвиг не должен быть очень большим. Большие значения коэффициентов корреляции при большом сдвиге обусловлены наличием цикличности проявления в природных процессах. Поэтому использование в расчетах коэффициентов корреляции с большим сдвигом требует дополнительных исследований и в настоящее время, видимо, следует воздержаться от использования их.

Для корреляционно-регрессионного анализа и прогноза различных природных явлений разработаны программы для ЭЦВМ. В программы положено линейное уравнение (интеграл Дюамеля):

$$y(t) = \int_0^{\infty} w(\tau)\, x(t-\tau)\, dt; \qquad (15.1)$$

где $w(t)$ – весовая функция, определяющая вес влияния входного сигнала в момент времени $(t-\tau)$; τ – память (сдвиг) в годах.

Основными факторами $x_i(t)$, которые подавались на вход, были: среднегодовые числа Вольфа, число дней в году с макроформами атмосферной циркуляции W и E. С этими макроформами наблюдается наиболее тесная связь проявления селей.

Например, для территории Армянской ССР с целью выбора наилучшей модели для прогноза были выполнены расчеты по моделям, приведенным в табл.15.5.

Таблица 15.5

Модели расчета

№ модели	Входы	Сдвиг (память) в годах	Совпадение эпигноза с фактич. значениями, %%
I	1. Среднегодовые числа Вольфа	10	36
	2. Число дней в году с макроформой W	10	
II	1. Среднегодовые числа Вольфа	10	28
	2. Число дней в году с макроформой E	10	
III	1. Число дней в году с макроформой W	11	26
	2. Число дней в году с макроформой E	11	
IV	1. Среднегодовые числа Вольфа	6	31
	2. Число дней в году с макроформой W	4	
V	1. Среднегодовые числа Вольфа	6	
	2. Число дней в году с макроформой W	4	35
	3. Число дней в году с макроформой E	4	

На рис.15.7 и 15.8 приведены результаты эпигноза и прогноза, выполненные по моделям, приведенным в табл.15.5. Из анализа графиков следует, что совпадения эпигноза с фактическими данными колеблются в довольно значительных пределах. При оценке совпадения были приняты для данного ряда очень жесткие требования: считалось, что расчетные данные совпали с фактическими, если разность не превышала 2 селя. Как видно из таблицы, совпадение оказалось невысоким и составило для моделей I – 36%, V – 35%, IV – 31%, II – 28% и III –26%. Совпадения по моделям на отрезке эпигноза

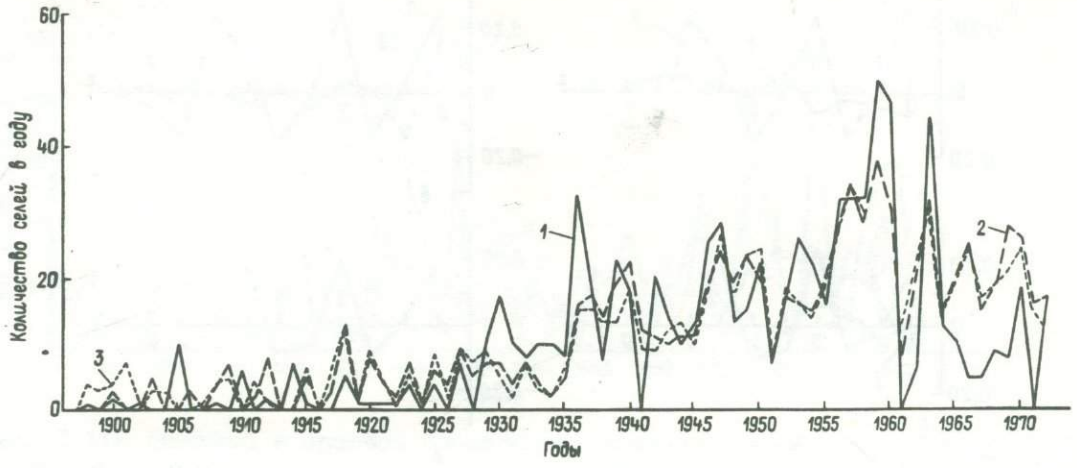


Рис.15.7. Эпигноз и прогноз проявления селей в Армении по моделям I–III. 1 – наблюденные значения; модели: 2 – II ($T_в = 10$, $T_E = 10$) 3 – III ($T_W = 11$, $T_E = 11$); 4–1 ($T_в = 10$, $T_W = 10$)

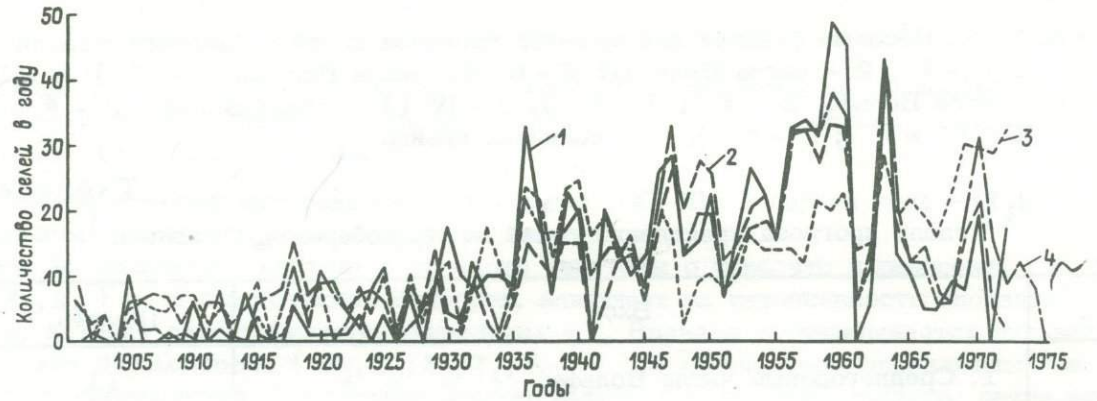


Рис.15.8. Эпигноз и прогноз селей в Армении по моделям IV и V. 1 – наблюденные значения. Модели: 2 – У ($T_в = 6$, $T_W = 4$, $T_E = 4$), 3 – ($T_в = 6$, $T_W = 4$)

по моделям I , V , VI можно считать удовлетворительными. Однако на интервале контроля (последние 10 лет) по отдельным моделям имеют место большие расхождения, но тенденция расчетных и фактических данных в общем виде совпадает по всем моделям, за исключением модели III.

Анализ весовых функций показал, что во всех моделях наибольший вклад в активизацию селей вносит солнечная активность, выраженная в числах Вольфа (рис.15.9). Весовые функции солнечной активности наибольшие значения имеют год в год и со сдвигом 3 и 7 лет. Макроформы атмосферной циркуляции W и E вносят меньший вклад в активизацию селевых процессов. Наибольшие значения весовых функций макроформы атмосферной циркуляции наблюдаются на второй и, особенно, на третий годы, а в модели III – год в год.

На рис.15.10 изображены эпигноз и прогноз селей для правобережья р.Сырдарьи по моделям, характеристика которых приведена в табл.15.6, а на рис.15.11 – значения весовых функций.

Из последнего рисунка следует, что наибольший вклад в активизацию селевых процессов на правобережье р.Сырдарьи в обеих моделях вносит солнечная активность со сдвигом 7 и 11 лет, меньший вклад со сдвигом 2 (модель I) и годы (модель II). Из анализа графиков на рис.15.10 следует, что совпадение расчетных и фактических

5386

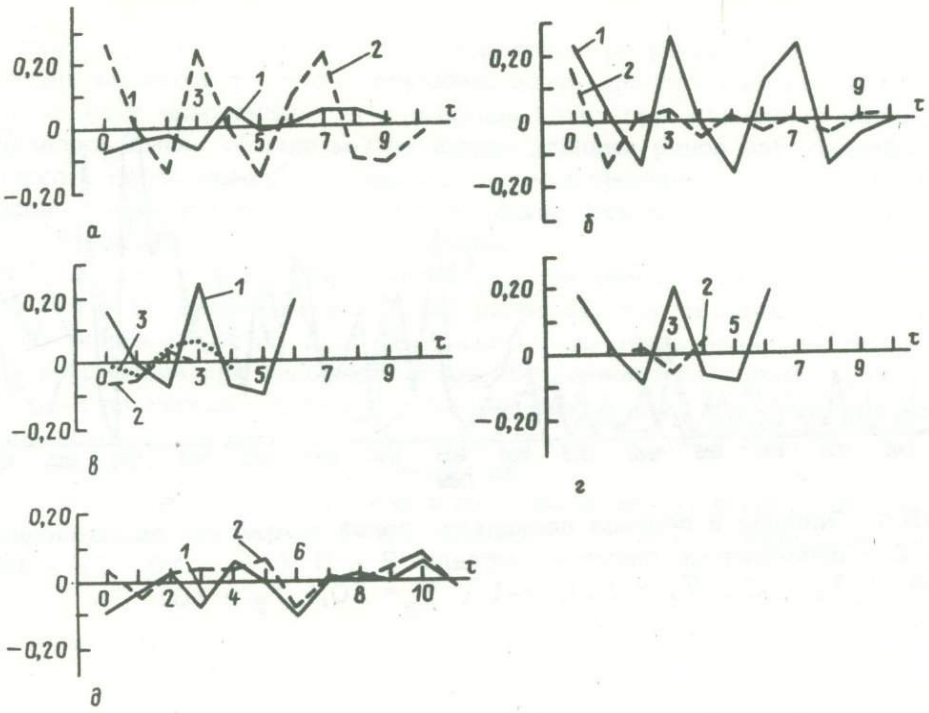


Рис.15.9. Весовые функции для моделей прогноза селей в Армении. Модели: а – I (1– W ; 2 – числа Вольфа); б – II (1–числа Вольфа, 2 – E); в – V (1 – числа Вольфа, 2 – W ; 3 – E); г – IV (1 – числа Вольфа, 2 – W); д – III (1 – W ; 2 – E), τ – величина сдвига

Таблица 15.6

Модели прогноза проявления селей на Правобережье Сырдарьи

Модель	Вход	Память
I	1. Среднегодовые числа Вольфа	11
	2. Число дней в году с макроформой W	11
II	1. Среднегодовые числа Вольфа	11
	2. Число дней в году с макроформой E	11
III	1. Среднегодовые числа Вольфа	4
	2. Число дней в году с макроформой E	4

данных на интервале контроля (последние 10 лет) можно считать по всем трем моделям вполне удовлетворительным. Лучшие совпадения наблюденных и эпигнозных значений наблюдаются в модели I.

Применение многофакторного анализа для прогноза оползней Н.С.Сергеевой показано на примере Окско-Волжского склона в районе г.Горького (СССР). На этом склоне высотой от 80 до 120 м, сложенном песчано-глинистыми отложениями татарского яруса и продуктами их разрушения, интенсивно развиваются оползневые процессы. Оползни первого порядка, связанные с пластическим выдавливанием глин татарского яруса в настоящее время проявляются очень редко. Оползневые процессы, в основном, развиваются в элювиальных и делювиальных суглинках с включением щебня и дресвы. Активизация оползневого процесса зависит от подмыва основания склона рекой, увлажнения четвертичных отложений. Для количественной оценки влияния быстроизменяющихся факторов на проявление оползней на этом склоне были использованы данные за период 1951–1975 гг. по:

максимальному уровню реки в году – (X_1);
–"– –"– подземных вод в скважине № 1 – (X_2);
–"– –"– воды в скважине № 2 – (X_3);

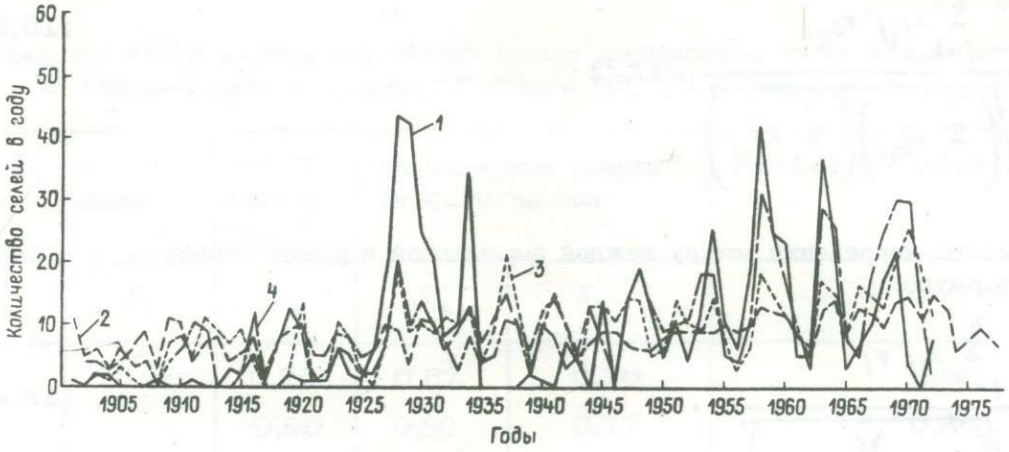


Рис.15.10. Эпигноз и прогноз проявления селей на правобережье р.Сырдарьи и в бассейне р.Нарына: 1 – наблюденные значения; модели: 2 – III ($T_в = 4$, $T_E = 4$); 3 – II ($T_в = 11$, $T_E = 11$); 4 – I ($T_в = 11$, $T_E = 4$)

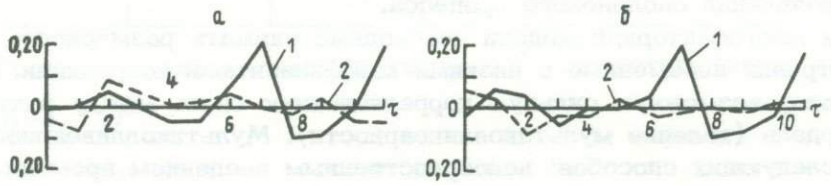


Рис.15.11. Весовые функции для моделей прогноза селей на правобережье р.Сырдарьи и в бассейне р.Нарына. Модели: а – I (1 – числа Вольфа, 2 – W); б – II (1 – числа Вольфа, 2 – E)

количеству атмосферных осадков за холодный (XI–III) период года – (X_4);
– годовому количеству атмосферных осадков – (X_5).

Задача исследования состоит в проверке гипотезы о том, что переменные (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) есть совокупность факторов, влияющих на интенсивность оползневого процесса, которая характеризуется значением y . Вначале устанавливается вид зависимости между переменными (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5) и количеством проявляемых на данной территории оползней. Следующим этапом является вычисление тесноты связи между выделенными факторами и количеством развитых на данном склоне оползней.

Пусть x_{ij} – значение i –той переменной в j –й момент времени (в j –том наблюдении);

y – значение y в i –й момент времени (в j –м наблюдении):

$i = 1,2,3, \ldots, m$; $j = 1,2,3,\ldots, n$.

Перед вычислением совокупности коэффициентов корреляции $r_{xi_1}, x_{i_2}, r_{xiy}$ все значения x и y для устранения несоответствий измерений, что необходимо для их сравнения, нормируются по формуле:

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{i\,\min}}{x_{i\,\max} - x_{i\,\min}} \qquad (15.2)$$

$j = 1,2,\ldots, n$; $i = 1,2,\ldots, m$; где:

$$x_{i\,\min} = \min\{x_{ij}\} \qquad i = 1,2,\ldots$$

$$x_{i\,\max} = \max\{x_{ij}\} \qquad i = 1,2,\ldots$$

Проверка независимости переменных (т.е. вычисление коэффициентов корреляции) между переменными производится по формуле:

5386

$$r_{i_1 i_2} = \frac{\sum_{j=1}^{n} x_{i_1 j} \cdot x_{i_2 j}}{\sqrt{\left(\sum_{j=1}^{n} x_{i_1 j}^2\right)\left(\sum_{j=1}^{n} x_{i_2 j}^2\right)}} \quad i_1 \neq i_2 . \tag{15.3}$$

Коэффициенты корреляции между каждой переменной и результатами K_{xjy} вычисляются по формуле:

$$r_{xiy} = \frac{\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \cdot y_j}{\sqrt{\left(\sum_{j=1}^{n} x_{ij}^2\right)\left(\sum_{j=1}^{n} y_i^2\right)}} . \tag{15.4}$$

На основе анализа полученной корреляционной матрицы составляется линейная регрессионная модель проявления оползневого процесса.

При построении многофакторной модели необходимо снижать размерность задачи, исключая из рассмотрения переменные с низкими коэффициентами корреляции. При этом следует иметь в виду возможную сильную корреляционную связь между факторами, включенными в модель (явление мультиколлинеарности). Мультиколлинеарность устраняется одним из следующих способов: непосредственным введением времени в регрессионную модель; расчетом коэффициентов корреляции по отклонениям от тренда; исключением из уравнения регрессии факторов, мультиколлинеарно связанных с основным. Кроме того, во многих случаях влияние некоторых природных факторов на оползневой процесс может сказаться с запаздыванием. Проверка гипотезы о наличии запаздывания влияния факторов является обязательным условием алгоритма количественной оценки. Для этого сдвигается динамический ряд y (проявление оползней) на одно наблюдение таким образом, чтобы наблюдаемому в текущем году значению числа оползней y соответствовали прошлогодние наблюдения всех факторов. Такая операция была проведена с данным рядом. После этого вновь вычислялась корреляционная матрица $r_{ix_1 xi_2}$ и вектор r_{xij}, результаты которой для данного случая приведены в табл.15.7.

Анализ корреляционной матрицы показывает, что прошлогодние значения уровня подземных вод и годовых осадков влияют на проявление оползней в этом году сильнее, чем соответствующие значения для текущего года. Значения коэффициентов корреляции между переменными X_4 и X_5 и y также несколько выше, вместе с тем, этого нельзя сказать о переменной X_1 – максимальный уровень воды в реке – коэффициент корреляции при сдвиге уменьшился. Используя это обстоятельство, введем в регрессионную модель проявления оползневого процесса запаздывающий аргумент, предварительно снизив размерность задачи, исключив из рассмотрения X_3 и X_4 . Искомая модель имеет вид

$$y_j = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 (j-1) + a_5 x_5 (j-1). \tag{15.5}$$

Оценка совокупности параметров регрессионной модели (a_0 , a_1 , a_2 , ..., a_n) проводится по методу наименьших квадратов. При этом вектор ($\hat{a}_0, \hat{a}_1, \hat{a}_2, \ldots, \hat{a}_n$) выбирается таким образом, чтобы минимизировать сумму квадратов отклонений, предсказываемых уравнением. Результаты счета на ЭВМ следующие:

$a_0 = 10{,}1088$ $\quad$ $a_2 = 16{,}11$
$a_1 = 7{,}1293$ $\quad$ $a_3 = 0{,}49$.

При оценке адекватности математической модели проявления оползневого процесса рекомендуется использовать критерий Дарбина–Уотсона: для задач с динамическими рядами этот критерий наиболее приемлем, т.к. связан с гипотезой о существовании автокорреляции первого порядка, т.е. автокорреляции между соседними остаточными чле-

Таблица 15.7

Матрица коэффициентов корреляции между количеством проявляемых оползней на Окско-Волжском склоне г.Горького (СССР) и природными факторами

max ∇ воды в реке	max ∇ воды в скв. № 1	max ∇ воды в скв. № 2	Атмосферные осадки за X–IV за год		Кол-во оползней в году
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	y
X_1	0,80	0,70	0,67	0,70	0,80
X_2		0,90	0,80	0,77	0,86
X_3			0,80	0,75	0,80
X_4				0,90	0,73
X_5					0,76

нами ряда. Соответствующая этому критерию – d статистика имеет вид:

$$d = \frac{\sum_{j=2}^{n} (l_j - l_{j-1})^2}{\sum_{j=1}^{n} l_j^2}, \qquad (15.6)$$

где l_j – совокупность остатков (отклонений истинных значений от предсказываемых регрессионным соотношением).

$$l_j = y_j - \sum_{i=0}^{m} \hat{a}_i \cdot x_{ij}, \qquad (15.7)$$

$j = 1,2,\ldots, n$.

Коэффициент автокорреляции первого порядка равен 0, если автокорреляция отсутствует. Если наблюдается полная автокорреляция, то он равен 1 или –1. Если последовательные значения коррелируют между собой, то имеет место автокорреляция ошибок. Метод наименьших квадратов и в случае автокорреляции дает несмещенные и состоятельные оценки. Однако получаемая при высокой автокорреляции ошибка и соответственно доверительный интервал имеют мало смысла в силу своей ненадежности. Поэтому уравнение регрессии с численно оцененными параметрами должно сопровождаться расчетным значением d -статистики. Для d -статистики Дарбином и Уотсоном найдены критические границы, позволяющие принять или отвергнуть гипотезу об отсутствии автокорреляции.

Вычисленное значение статистики для данной задачи d = 1,619 находится на краю неопределенности, т.е. нет статистического основания принять или не принять модель 1 проявления оползневого процесса. Но для уверенности в надежности получаемого результата – проявления оползней на изучаемой территории – делается еще одна попытка улучшения модели проявления оползневого процесса. Для этой цели сравниваются численные значения коэффициентов a_0, a_1, a_2, a_3, полученные в результате решения уравнения, что дает возможность сделать вывод о существенно большем влиянии на развитие и активизацию оползней на Окско-Волжском склоне первых двух факторов (X_1 и X_2) по сравнению с фактором X_5 – годовым количеством осадков.

Поэтому можно упростить модель, приведя ее к виду:

$$y_j = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 (j-1). \qquad (15.8)$$

Для этой новой модели проявления оползневого процесса вычисляются так же, как ранее оптимальные оценки по методу наименьших квадратов значения статистики d . В связи с тем, что в этой новой модели проявления оползневого процесса число независимых переменных равно двум, а не трем, как было ранее, значения критических границ теперь равны $d_0 = 1{,}1$; $d = 1{,}55$, и вычисленное значение статистики $d =$ $= 1{,}608$ уже попадает в область отсутствия корреляции, т.е. модель стала адекватна. Результаты счета на ЭВМ этого уравнения следующие:

$$a_0 = 9{,}91 \qquad a_1 = 7{,}25 \qquad a_2 = 15{,}91 \ .$$

После подстановки полученных значений a_0, a_1, a_2 в уравнение, модель проявления оползней с нормированными переменными будет иметь вид:

$$y_j = 9{,}93 + 7{,}25 x_{ij} + 15{,}91 x_2 (j-1). \qquad (15.9)$$

Результаты прогноза активизации оползневого процесса по уравнению II на основе гармонического анализа наблюдаемого ряда оползней на Окско-Волжском склоне приведены в табл.15.8.

Таблица 15.8

Прогноз активизации оползней на Окско-Волжском оползневом склоне

Годы	Количество активизировавшихся и вновь возникших оползней в году		Фактические значения
	по уравнению регрессии	на основе гармонического анализа	
1976	25	32	22
1977	48	35	44
1978	46	30	37
1979	57	28	51

Таким образом, проанализировав и оценив количественно влияние природных факторов на развитие и активизацию оползневого процесса в районе высокого Окско-Волжского оползневого склона в пределах г.Горького, можно сделать вывод, что главным фактором, вызывающим здесь активизацию оползней в поверхностных отложениях, является колебание уровня подземных вод в четвертичных отложениях и высокое стояние уровня воды в реке.

Инженерно-геологические карты долговременных прогнозов оползней и селей

Заключительным этапом региональных прогнозов является составление специальных карт. Эти карты обычно составляются для одного генетического типа геологического процесса (оползней или селей), но могут быть случаи, когда на этих картах показывается прогноз нескольких генетических типов геологических процессов. Эти карты составляются на основе инженерно-геологических карт районирования по условиям развития и интенсивности проявления оползневых и селевых процессов в масштабе 1:200 000 – 1:500 000. Методика составления этих карт изложена в главе 14. На специальной инженерной геологической карте прогнозов показываются регионы, области, районы и участки. На указанную инженерно-геологическую основу накладывается районирование по режиму основных ведущих быстроизменяющихся факторов. Для каждого инженерно-геологического района во временной зоне дается прогноз для каждого генетического вида оползней и селей.

На рис.15.12 и 15.13 приведены фрагменты инженерно-геологических карт долговременных прогнозов оползней и селей для отдельных районов Черноморского побережья СССР. На этих картах римскими цифрами показаны регионы, большими буквами – об-

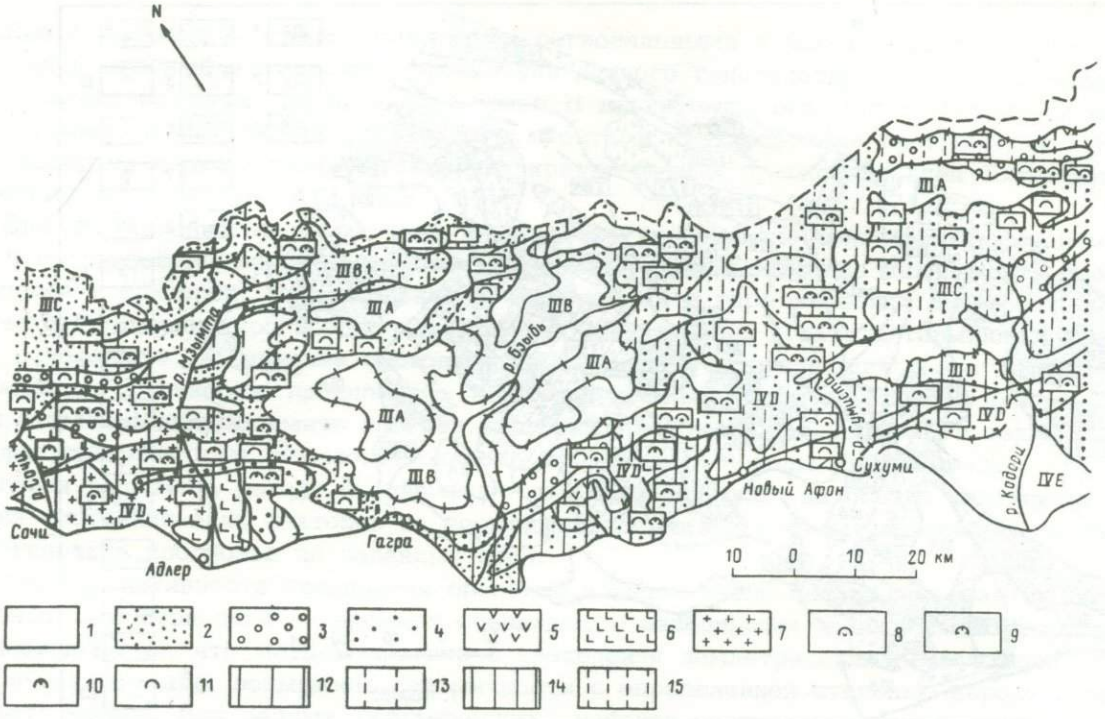


Рис.15.12. Карта долговременных прогнозов оползневой активности на Черноморском побережье СССР (на участке от Сочи до Сухуми). Составили: А.И.Шеко, П.А.Дворцов, В.С.Круподеров, И.В.Харламова. Регионы: III – Мегантиклинорий Большого Кавказского хребта; IV – Грузинский срединный массив. Области: IIIА – нивальная альпийская, IIIБ – высокогорная; IIIВ – среднегорная, IIIГ и IVГ – низкогорные, IVE – холмистая равнина. Интенсивность проявления оползней, представляющая собой отношение площади оползневых форм к площади всего участка: 1 – оползни не обнаружены; 2 – очень слабая (менее 0,05); 3 – слабая (0,05–0,1); 4 – средняя (0,1–0,3), сильная (0,3–0,5), очень сильная (0,5–0,7), 7 – весьма сильная (больше 0,7). Генетические виды оползней; 8 – блоковые оползни в коренных породах; 9 – блоковые оползни в четвертичных отложениях; 10 – оползни-потоки, 11 – оплывины. Прогноз активизации оползней; 12 – наиболее сильная активизация, вызванная аномальным количеством осадков ожидается в 1997–2000 гг., средняя – в 1975–1977, 1981–1982, 1987–1988, 1992–1993 гг. Активизация оползней в береговой полосе, вызванная абразией, ожидается в 1980–1981 и 1995–1997 гг.; 13 – наиболее сильная активизация, вызванная аномальным количеством осадков, ожидается в 1982–1984, слабая в 1975, 1987, 1992–1993 и в 1996 гг.; 14 – наиболее сильная активизация, вызванная аномальным количеством осадков, возможна в 1986–1987, средняя – в 1995–2000, слабая – в 1975 г.; сильная активизация, вызванная абразией, ожидается в 1995–1997, слабая – в 1976–1978 гг.; 15 – наиболее сильная активизация, вызванная аномальным количеством осадков, возможна в 1987, 1995–1996, слабая – 1975–1977 и 1999–2002 гг.

ласти, интенсивность проявления оползней и селей – крапом, режим активизации процессов с выделением периодов – штриховкой.

Локальные прогнозы

Долговременные локальные прогнозы составляются : оползней – для отдельных форм их проявления и отдельных участков склона, а селей – для бассейна в целом или отдельных селевых очагов. Локальные прогнозы составляются на фоне региональных и могут практически использоваться все вышеизложенные методы, но при этом все параметры должны относиться к данному участку.

При долговременных локальных прогнозах селей может быть использован межселевой

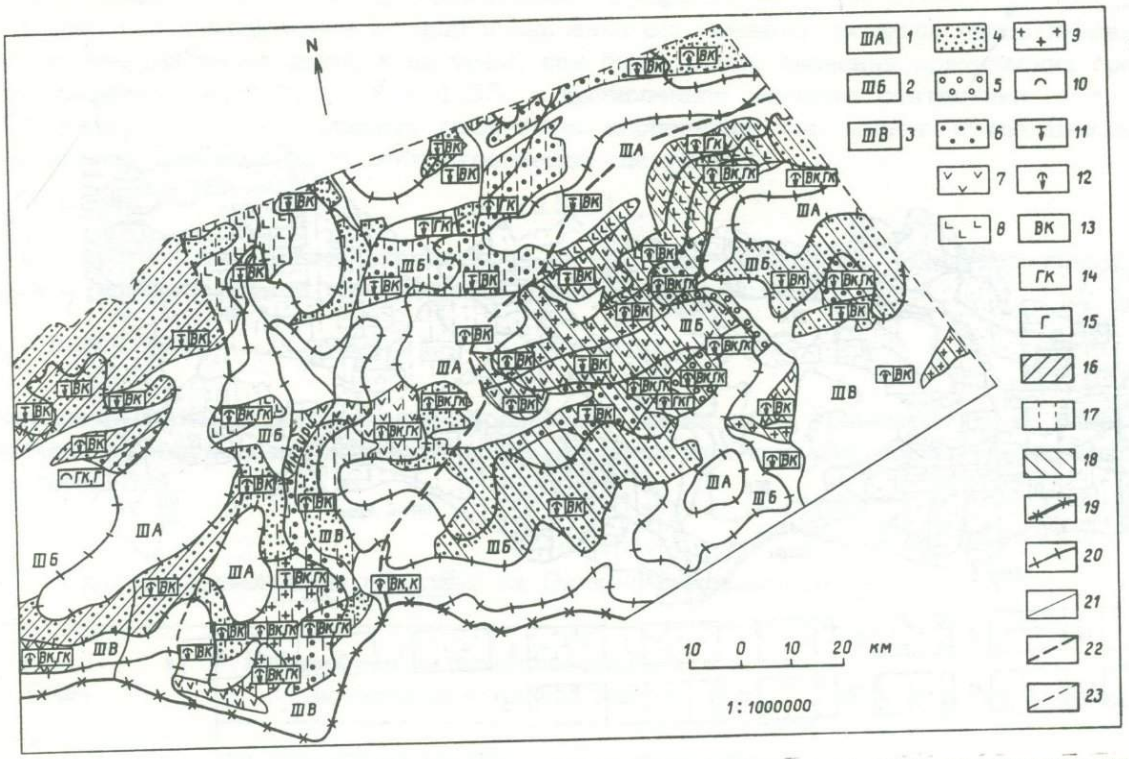


Рис.15.13. Инженерно-геологическая карта долговременных прогнозов активизации селей на южном склоне Кавказского хребта (составили А.И.Шеко, В.С.Круподеров, И.В.Харламова). Инженерно-геологическое районирование: Регионы: III – мегантиклинорий Главного Кавказского хребта. Области: 1 – нивальная альпийская, 2 – высокогорная, 3 – среднегорная. Интенсивность проявления селей (линейные коэффициенты пораженности территории); 4 – весьма слабая (менее 0,05), 5 – слабая (0,05-0,1), 6 – средняя (0,1-0,3), 7 – сильная (0,3-0,5) очень сильная (0,5-0,7), 9 – весьма сильная (более 0,7). Генетические типы очагов: 10 – оползневые, 11 – эрозионные, 12 – эрозионно-оползневые. Тип селей по твердой составляющей: 13 – каменный, 14 – грязекаменный, 15 – грязевый. Режимы активизации селей: 16 – наиболее сильная активизация ожидается в 1986-1987 и 1995-1996 гг., средняя – в 1975 – 1977 и 1999-2000 гг., 17 – наиболее сильная активизация – в 1986-1988 гг., слабая – в 1975-1977 гг.; эрозионных очагах активизация возможна в 1981-1982 и 1991-1993 гг.; 18 – наиболее сильная активизация – в 1986-1989, средняя – в 1973-1976, 1980-1981 и 1995-2000 гг. Границы: 19 – регионов, 20 – областей, 21 – районов, 22 – временных зон режима активизации селей, 23 – район исследований

интервал, под которым понимается время между прохождением селей в одном и том же водотоке. Как это отмечалось в гл.3, продолжительность межселевых интервалов изменяется она меньше в периоды сильной активизации селевых процессов в данном регионе и больше в периоды слабой активизации. Важно также дать долговременный прогноз развития отдельных селевых очагов. При долговременных локальных прогнозах оползней представляется целесообразным определять периоды активизации всего оползня в целом и отдельных его частей, а также продолжительность полных оползневых циклов развития (гл.2). В этом случае используются ряды наблюдения за кинематикой отдельных частей оползня. При этих прогнозах должна быть учтена стадия развития, на которой находится данный оползень. Необходимо иметь в виду, что продолжительность полных оползневых циклов (циклов первого вида) так же, как и межселевых интервалов, изменяется и находится в прямой зависимости от региональной активности оползневых процессов.

Краткосрочные прогнозы

Краткосрочные прогнозы могут быть региональными и локальными и составляются на сезон, опасный в отношении проявления данного генетического типа экзогенных геологических процессов, перед его началом. В дальнейшем они могут уточняться на месяц, декаду, ближайшие дни, даже часы. Поэтому краткосрочные прогнозы, по сути дела, являются перманентными. Методика краткосрочных прогнозов селей более детально рассмотрена в работе А.И.Шеко [17].

Для составления предварительных прогнозов на оползне-селеопасный сезон могут быть использованы вероятностно-статистические методы (анализ цикличности проявления процесса и факторов, корреляционно-регрессионный и гармонический анализы и т.д.). По мере уточнения прогнозов, все большую роль должны играть детерминированные методы, основанные на анализе состояния компонентов, определяющих развитие процесса (изменение влажности, прочностных и деформационных свойств горных пород на склоне). При этом необходимо иметь прогноз гидрометеорологических условий, а также знать последствия, которые они могут оказать на склоны и породы их слагающие. Уточнение прогноза на месяц, декаду и ближайшие дни производится на основе фактического изменения состояния всех факторов за прошедшее время и с учетом уточненных гидрометеорологических прогнозов на заданный срок.

Степень активности проявления оползней и селей очень сильно повышается, когда сильные землетрясения по времени совпадают с наибольшим увлажнением территории. Несмотря на то, что методы прогнозов проявления землетрясений в настоящее время разработаны слабо, повышение сейсмичности с определенной степенью вероятности предсказать можно. Для разных сейсмических районов рассчитана повторяемость землетрясений различной силы.

Инженерно-геологической основой для краткосрочных региональных прогнозов, как и для долговременных прогнозов, являются специальные инженерно-геологические карты районирования по условиям и интенсивности развития оползней и селей в масштабе 1:200 000 - 1:500 000. Особенности методов краткосрочных региональных прогнозов селей определяются генетическими особенностями очагов их зарождения, а оползней - генетическими особенностями их видов.

Очаги, связанные со скоплением рыхлого материала в руслах временных и малых водотоков

Для оценки возможности формирования селей на определенный период в очагах первой группы необходимы следующие данные:

1. О твердой составляющей: а) объемы, распределение и состояние рыхлообломочного материала в руслах водотоков в зоне зарождения селей; б) участки и объемы возможного дополнительного поступления рыхлообломочного материала в случае зарождения селевого потока.

2. О жидкой составляющей: а) количество, характер и распределение осадков за предшествующий период; б) наличие, распределение снежного покрова и запасов воды в нем; в) прогноз погоды на заданный период; г) состояние грунтов (водонасыщенность, наличие мерзлоты и т.д.) водосборной площади.

Очаги, связанные с подпруживанием рек

При прогнозе возможного формирования селей на определенный период в очагах этой группы следует различать возможные будущие подпруживания, с одной стороны, и древние завалы и искусственные плотины, с другой. При оценке в случае возможности подпруживания реки следует различать два аспекта этого вопроса: а) оценка возможности подпруживания реки в данный период времени на данном участке и б) определение времени и характера разрушения запруды.

Оценка возможности подпруживания реки на заданный период времени сводится к прогнозу возможности образования в этот период оползня, обвала селевого потока, ла-

вины, которые могли бы подпрудить реку. Решение второй задачи производится при условии, что подпруживание реки уже произошло. Прежде всего, необходимо уточнить размеры возможной запруды, затем определить время, когда начнется фильтрация через тело и перелив воды через нее. При этом необходимо иметь в виду, что если завал будет сложен крупнообломочным хорошо водопроницаемым материалом, то возможны такие случаи, когда равновесие между приходной и расходной частями баланса воды в образовавшемся озере наступит раньше, чем уровень воды поднимется до верха завала. В этом случае запруда переходит во вторую подгруппу селевых очагов (древние завалы и искусственные плотины).

При прогнозе прорыва древних завалов и искусственных плотин на заданный период должны решаться следующие три основные задачи: а) оценка возможности образования оползней и обвалов на берегах озера и водохранилища, способных вызвать перелив воды через завал или плотину; б) оценка возможности прохождения по водотокам, впадающим в озеро, селевых потоков, способных вызвать перелив воды через завал или плотину; в) оценка возможности разрушения завала или плотины фильтрующимися водами.

Очаги, связанные с деятельностью ледников

Формирование селей в очагах этой группы всегда обусловлено поступлением большого количества тепла, которое вызывает интенсивное таяние снега, ледников, погребенного льда, оттаивание морен, обрушение языков ледника, что в свою очередь вызывает прорыв ледниковых озер, а также подпруживание и прорыв поверхностных и подземных водотоков. Все это приводит к образованию селей. Поэтому основными признаками возможности образования селевых потоков в очагах, связанных с современными ледниками, являются устойчивые длительные повышения температуры в высокогорных областях и высокое положение нулевой изотермы. В Средней Азии и на Кавказе это часто бывает связано с макроформой атмосферной циркуляции типа W по Вангенгейму.

Как уже отмечалось, краткосрочные прогнозы гляциальных селей, формирование которых связано с прорывом закрытых водоемов в моренах и ледниках, могут быть даны, по Ю.Б.Виноградову, на основе корреляции расходов двух соседних ледниковых речек [1]. Сущность этого метода сводится к анализу аномальных отклонений на корреляционных графиках среднесуточных расходов воды соседних водотоков. Количество отклонившихся точек от основной полосы корреляции и величины отклонений является признаком накопления воды в поверхностных и закрытых водоемах в морене и леднике того бассейна, в сторону которого отклонились точки. Чтобы установить объем воды в закрытых водоемах, необходимо вести наблюдения за накоплением ее в поверхностных водоемах. Сам факт накопления воды в закрытых водоемах указывает только на возможность прорыва водоемов и формирования селевого потока, но эта возможность может быть и не реализована. На рис.15.14 и 15.15 приведены корреляционные графики расходов воды по двум парам ледниковых речек Киргизского и Заилийского Алатау (СССР). Из этих графиков видно, что реализация возможности формирования селей на реках Алаарча и Малой Алматинке проходила неодинаково. В первом случае она осуществилась очень быстро, во втором случае формирование селя произошло после максимума отклонений, когда корреляция между расходами воды в реках Талгаре и Малой Алматинке приблизилась к нормальной. Для контроля Ю.Б.Виноградов предлагает дополнительно использовать корреляционный график хронологии между расходом и тепловым показателем. В качестве последнего может быть использована максимальная, 13-часовая температура воздуха или суточный приход радиации по ближайшей метеорологической станции. Пример такого графика приведен на рис.15.16. Признаком накопления талых вод в морене и пустотах ледника является сдвижение значений коэффициентов корреляции на графике вправо (по оси t° С).

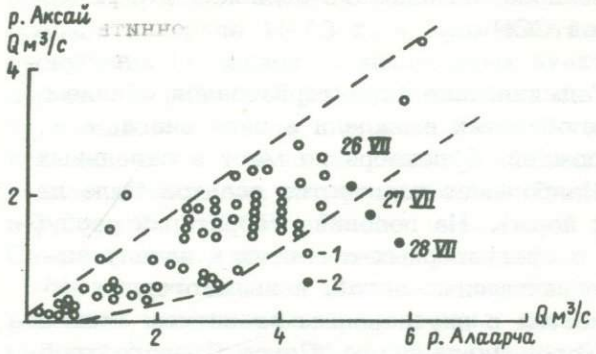


Рис.15.14. Корреляционный график расходов воды на реках Аксай (устье) и Алаарча за 1961 г. (Тянь-Шань, северный склон Киргизского хребта), селевой поток прошел 29 июля (по Ю.Б.Виноградову)

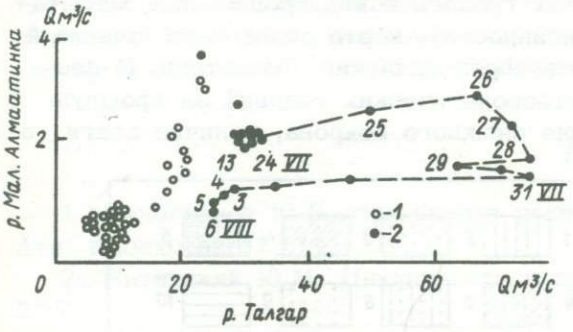


Рис.15.15. Корреляционный график расходов на реках Малой Алматинке и Талгар за 1956 г.; селевой поток прошел 7 августа (по Ю.Б.Виноградову)

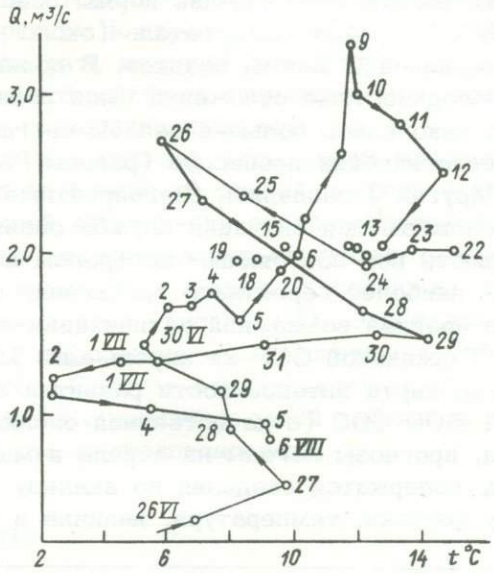


Рис.15.16. Хронологическая линия в координатах Q (расход м^3/сек) и $t°C$ (температура) по гидрометеорологическому посту метеостанции Мынжилки за 1956 г. Жирные линии – отрезки времени, соответствующие повышенной селеопасности (по Ю.Б.Виноградову)

Очаги, связанные с вулканической деятельностью

Формирование селей в очагах этой группы чаще наблюдается при активизации вулканической деятельности. Поэтому предсказание селевой опасности, в первую очередь, должно быть основано в этом случае на оценке возможности активизации сейсмической активности в районе вулкана. Оценка активизации вулканической деятельности и предсказание извержения вулканов на короткий отрезок времени особых трудностей не представляет. Поэтому, получив информацию об активизации вулканической деятельности, необходимо проанализировать состояние очагов зарождения селей и определить возможность образования и катастрофичность селевых потоков. В связи с тем, что по предвестникам трудно определить масштабы и последствия извержения, следует организовать визуальные и инструментальные наблюдения за деформацией конуса вулкана. Нередко на склонах вулканов образуются огромные оползни, которые могут дать начало катастрофическим селевым потокам, как это было в 1980 г. при извержении вулкана Святой Елены в Каскадных горах (США). Особой мощности селевые потоки могут образовываться при излиянии магмы на ледник. Такие случаи описаны в гл.3. Однако селевые потоки на склонах вулканов могут формироваться и без извержения вулканов во время сильных дождей, когда интенсивно размываются рыхлые продукты извержения, покрывающие склоны вулкана.

5386

Пример регионального краткосрочного прогноза активизации оползней и селей в Таджикской ССР

Зимне-осенний период 1972-1973 гг. в Таджикистане характеризовался обилием атмосферных осадков, которые в высокогорных областях выпадали в виде снега, а в среднегорных областях и в долинах - в виде дождей. С декабря по март в отдельных районах выпало полторы-две нормы осадков. Наибольшее количество осадков было на Памире и в районе Джиргаталь (около двух норм). На половине территории республики выпало 1,5 нормы осадков. В долинах и в среднегорных областях к началу апреля поверхностные отложения были полностью насыщены влагой, в высокогорных областях накопились большие запасы снега. В местах с интенсивным развитием экзогенных геологических процессов (районы Гиссарского, Дарвазского, Петра Первого хребтов и других) создались благоприятные условия для их активизации.

В сложившейся ситуации служба оповещения и предупреждения не в состоянии была держать под постоянным контролем всю территорию республики. Чтобы определить районы наиболее вероятного проявления оползней, селей и других процессов, был составлен прогноз возможной активизации экзогенных геологических процессов на территории Таджикской ССР на апрель-май 1973 г. Основными исходными материалами служили: карта интенсивности развития экзогенных геологических процессов в масштабе 1:1 500 000 (с качественной оценкой интенсивности), карта осадков за холодный период, прогнозы погоды на апрель и май, агрометеорологические бюллетени. В последних содержатся сведения по анализу гидрометеорологических условий за прошлую декаду (осадки, температура, наличие и состояние снежного покрова, наличие влаги в

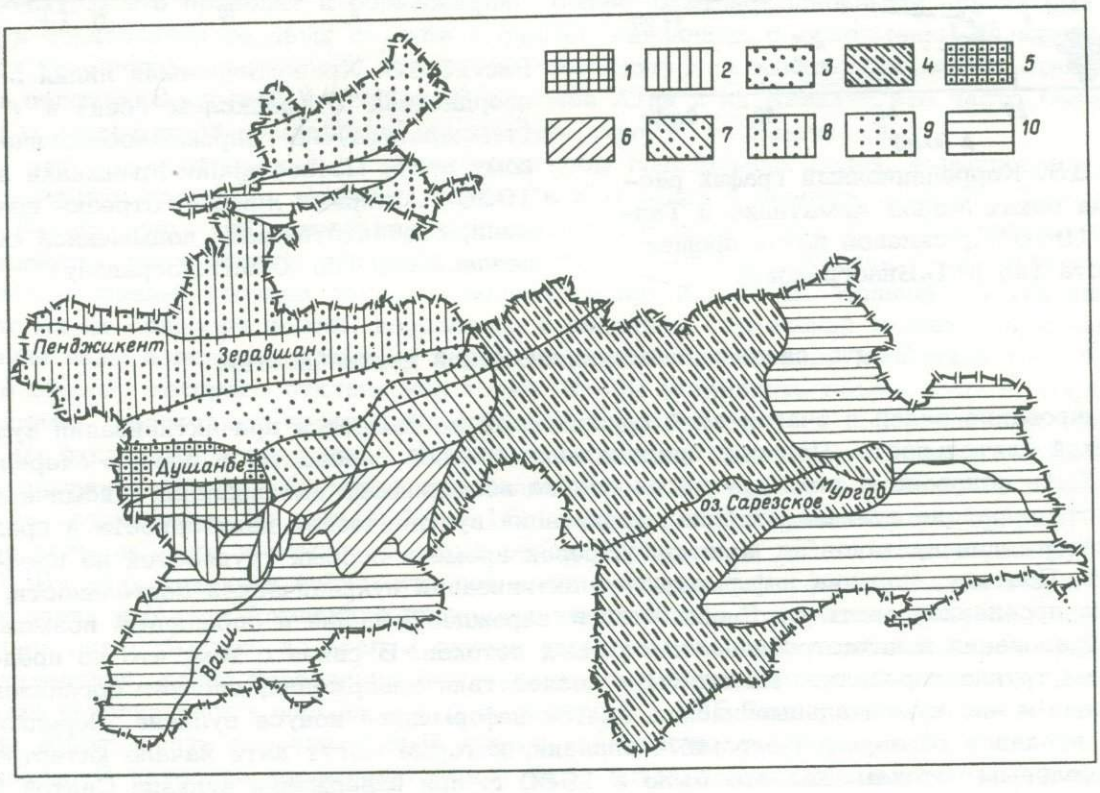


Рис.15.17. Карта возможной активизации экзогенных геологических процессов в Таджикской ССР на апрель-май 1973 г. (составили А.И.Шеко, М.М.Максимов, Р.А.Ниязов 15 апреля 1973 г.). Районы: 1 - средней и сильной активизации оползней; 2 - единичного проявления оползней; 3 - слабой и средней активизации селей; 4 - слабой активизации оползней, селей и обвалов; 5 - средней и сильной активизации оползней и селей, 6 - средней активизации оползней с ослаблением активности к концу периода; 7 - слабой и средней активизации оползней и селей; 8 - проявления единичных оползней и селей, 9 - проявления единичных селей; 10 - активизация процессов не ожидается

почве и др.). Из анализа вышеперечисленных данных следовало, что больше нормы осадков в апреле 1973 г. в Таджикистане ожидалось только в юго-западной части республики (к западу от населенных пунктов Варзоб, Файзабад, Московский), а около нормы - в районе Хорога, Ишкашима. На всей остальной территории, согласно прогнозу, осадков в апреле должно было быть меньше нормы. В мае больше нормы осадков ожидалось только на Восточном Памире, в районе Мургаба и около нормы на Западном Памире, на северном склоне Туркестанского хребта и в долинах р.Кафирнигана и р.Сурхоба (СССР). Резких отклонений температуры в апреле и мае не ожидалось. Следовательно, таяние снега должно было происходить не очень интенсивно.

На основе анализа всех вышеперечисленных факторов были выделены следующие районы с возможным проявлением экзогенных геологических процессов: а) средней и сильной активизации оползней и селей; б) средней и сильной активизации оползней; в) средней активизации оползней с ослаблением ее в мае; г) слабой и средней активизации преимущественно селей; д) слабой и средней активизации селей и оползней; е) слабой активизации оползней, селей и обвалов; ж) проявления единичных оползней и селей; з) проявления единичных оползней; и) проявления единичных селей; к) проявления экзогенных геологических процессов не ожидается (рис.15.17). Эта карта позволила сосредоточить основное внимание службы наблюдения и оповещения на районах, где возможна сильная активизация этих процессов. Следует отметить, что прогноз в основном оправдался. Наиболее сильная активизация оползней и селей наблюдалась в Гиссарской долине, к западу от г.Душанбе, как это и предполагалось.

Литература

1. Виноградов Ю.Б. Временные рекомендации по прогнозу гляциальных селей. Алма-Ата: Казахстан, 1974, 18 с.
2. Витинский Ю.М. Цикличность и прогнозы солнечной активности. Л.: Наука, 1973 257 с.
3. Возовик Ю.И. О повторяемости событий в процессе развития ландшафтов во времени. "Вопросы географии". М.: Мысль, 1970, вып.79, с.3-14
4. Гирс А.А. Основы долгосрочных прогнозов погоды. Л.: Гидрометеоиздат, 1960, 560 с.
5. Дроздов О.А., Григорьева А.С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1971, 158 с.
6. Дружинин И.П., Хамьянова Н.В. Солнечная активность и переломы хода природных процессов на Земле. М.: Наука, 1969, 224 с.
7. Закиев Х.Я. Солнечная активность, циркуляция атмосферы и колебания режима современных ледников Большого Кавказа. Геофиз. бюл. Междувед. геофиз. комитета при Президиуме АН СССР. М.: 1936, с.379
8. Калстрем Т.Н. История оледенения Аляски и ее значение для теории палеоклимата. "Солн. активность и изменение климата". Л.: 1966, с.119-177
9. Коноплянцев А.А., Семенов С.М. Прогноз и картирование режима грунтовых вод. М.: Недра, 1974, 214 с.
10. Лунгерсгаузен Г.Ф. Периодические изменения климата и великие оледенения Земли. "Советская геология", 1957, № 50, с.88-116
11. Максимов Е.В. Проблемы оледенения Земли и ритмы в природе. Л.: Наука, 1972, 296 с.
12. Максимов И.В. Опыт прогноза вековой составляющей солнечной деятельности. "Проблемы Арктики и Антарктики", 1963, № 2, с.21-32
13. Мустафакулов Т.М. К вопросу о циклах селеобразования. ДАН Узб.ССР, 1965, № 3, с.32-34
14. Резников А.П. Прогнозирование солнечной активности до конца столетия. "Закономерности и прогнозирование природн. явлений". М.: Наука, 1980, с.60-86
15. Тушинский Г.К. Космос и ритмы природы Земли. М.: Просвещение, 1966, 120 с.
16. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1979, 345 с.
17. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. М.: Недра, 1980, 296 с.

18. Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности (очерки). Л.: Наука, 1969, 245 с.

Глава 16

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ

1. Общие положения

Для составления достоверных прогнозов оползневых и селевых процессов, обоснования проектирования и расчета различных противооползневых, противоселевых и других защитных мероприятий необходимы количественные характеристики динамики оползней и селей, факторов, их определяющих, а также условий возникновения и развития оползневых и селевых процессов.

Такие данные получаются аналитически или экспериментальным путем.

2. Расчет устойчивости оползневых склонов

Из методов локального прогнозирования оползневого процесса наиболее распространенными являются методы расчета устойчивости оползневых склонов. В настоящее время ни одно проектное решение при хозяйственном освоении склонов или строительстве земляных сооружений не принимается без количественной оценки степени устойчивости оползневых склонов и откосов. Известно довольно значительное количество методов расчета устойчивости склонов, учитывающих в своих расчетных схемах многообразие типов оползней и использующих разные допущения, в том числе связанные с формой поверхности оползневого смещения и местоположением областей грунта, находящихся в предельном состоянии, с определением коэффициента устойчивости. Как правило, расчеты ведутся в условиях плоской задачи. Для участка сравнительно однородного по геологическому строению с визуально определимыми границами оползня этим условиям более соответствует центральное сечение.

Опыт показывает, что достоверность расчета не столько определяется строгостью использованного механико-математического аппарата, хотя и это имеет значение, сколько наибольшей степенью учета расчетной схемы механизма деформирования склона, реальных характеристик сопротивления грунта сдвигу по поверхности смещения, формы последней, а также фактического влияния на устойчивость существующего склона различных природных и техногенных факторов, вызывающих изменение обводненности склона, баланса масс или свойств грунтов. Многими исследователями в СССР и за рубежом делались сопоставительные расчеты устойчивости конкретных склонов и идеализированных ситуаций различными известными методами, пригодными для расчетных условий. Результаты сопоставления неоднократно докладывались на Международных конгрессах по механике грунтов и фундаментостроению, на международных симпозиумах по оползням, в специальных работах. Убедительные результаты сопоставительных расчетов получены Н.Н.Масловым и его сотрудниками по 49 реальным оползневым склонам [7]. По склонам, где возможно образование "первичного" оползня (нарушение устойчивости откоса сравнительно однородной толщи) с формированием поверхности скольжения, использованы методы, основанные на гипотезе круглоцилиндрической поверхности скольжения: К.Терцаги, А.И.Иванова, Д.Тэйлора, Крея-Бишопа, Р.Р.Чугаева ("весового давления"), И.В.Федорова. Сделаны также расчеты по методу В.В.Соколовского, основанному на гипотезе предельного напряженного состояния всего смещающегося массива и по методу равнопрочного откоса "F_p" Н.Н.Маслова.

Особенно большое совпадение значений коэффициентов устойчивости получено по методам, основанным на гипотезе круглоцилиндрической поверхности скольжения (рис.16.1а). Расхождение результатов находится в пределах 5-10%. Подобные данные приводятся также в работе И.М.Дункана и С.Г.Врайта [20]. Совпадение значений коэффициентов устойчивости по различным методам получено также для склонов, где поверх-

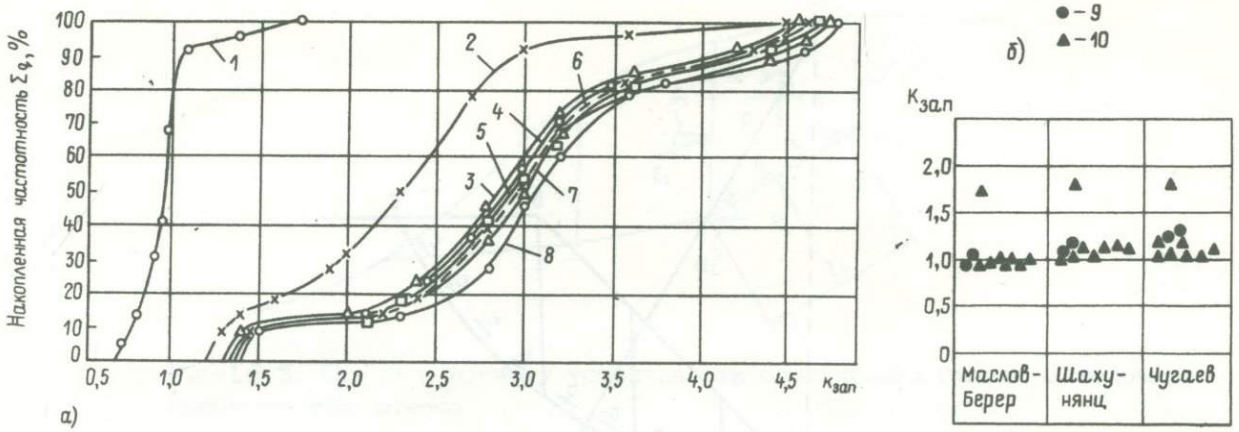


Рис.16.1. Результаты сопоставления различных расчетных методов по значениям коэффициентов запаса устойчивости для оползневых склонов: а) с учетом образования круглоцилиндрической или близкой к ней поверхности скольжения: 1 – по Маслову; 2 – по Соколовскому; 3 – по Терцаги; 4 – по Иванову; 5 – по Крею–Бишопу; 6 – По Тейлору; 7 – по Федорову; 8 – по Чугаеву; б) с фиксированной ломаной поверхностью скольжения; 9 – сухие грунты; 10 – водонасыщенные грунты

ность скольжения предопределена геологическим строением (например, делювиальные отложения, залегающие на кровле коренных пород и т.д., рис. 16.1.б). Выбор метода расчета устойчивости применительно к конкретному оползневому склону производится, главным образом, в соответствии с механизмом развивающихся в данных условиях оползней. Ниже кратко рассматриваются некоторые из методов расчета устойчивости оползневых склонов для наиболее распространенных типов оползней (см.главу 2).

Оползни скольжения

Как указывалось выше, для так называемых "первичных" оползней на склонах с достаточно большой мощностью глинистой толщи возможно применение метода круглоцилиндрических поверхностей смещения [12,13,16,21]. В этом методе предполагается что смещение массива происходит путем вращения оползневого монолитного тела вокруг центра O (рис.16.2). Условием предельного равновесия будет равенство моментов всех действующих на оползневое тело сил относительно точки O. При этом оползневое тело ABC разбивается на ряд отсеков и с учетом величин объемных масс γ всех слоев, слагающих оползневое тело, вычисляется вес каждого отсека P_i, который прикладывают к центру линии скольжения i-го отсека. Раскладывая P_i на составляющие, направленные по радиусу (N_i) и по касательной к линии скольжения (T_i), составляют уравнение равновесия

$$\Sigma T_i \cdot R - \Sigma N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i \cdot R - \Sigma c_i l_i R = 0, \qquad (16.1)$$

где R – радиус вращения оползневого тела по поверхности скольжения; φ_i и c_i – угол внутреннего трения и сцепление грунта, выраженные через эффективное напряжение; l_i – длина дуги скольжения, Σ – знак суммирования.

T_i и N_i вычисляются через измеренные по чертежу значения угла наклона вектора T_i к горизонту

$$T_i = P_i \cdot \sin a_i \; ; \; N_i = P_i \cdot \cos a_i \, . \qquad (16.2)$$

Внутренние силы взаимодействия по вертикальным стенкам отсеков в расчете не учитываются.

Коэффициент устойчивости склона (или для склонов, не достигших состояния предельного равновесия, коэффициент запаса устойчивости $K_{зап.}$) определяется отношением суммы моментов сил, удерживающих оползневое тело, к сумме моментов сил, стремящих-

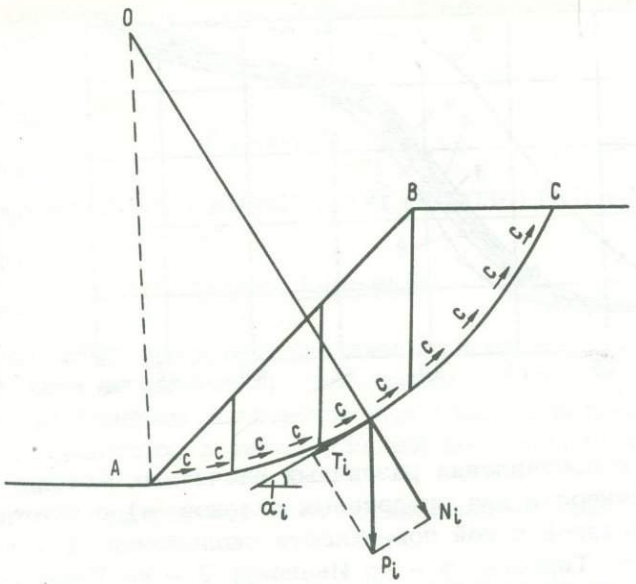


Рис.16.2. Схема к расчету устойчивости оползневого склона методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения

ся его сдвинуть, т.е. с сокращением R , следующим выражением:

$$K_{\text{зап.}} = \frac{\Sigma M_{\text{уд.}}}{\Sigma M_{\text{сдв.}}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (P_i \cdot \cos a_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^{i=n} P_i \cdot \sin a_i}, \qquad (16.3)$$

где: n – число отсеков в оползневом теле.

Задаваясь различными положениями центра O, посредством нескольких расчетов определяют наиболее опасное положение поверхности скольжения. Для облегчения расчетов рядом исследователей разработаны специальные правила и вспомогательные таблицы. Зная положение в оползневом теле уровня подземных вод, можно учесть их взвешивающее влияние и фильтрационное давление. Следует отметить, что вследствие образования трещин закола возможно сокращение длины поверхности скольжения и, соответственно, уменьшение сил сопротивления сдвигу. Глубина трещины $h_{\text{тр.}}$ может быть определена по формуле В.В.Соколовского:

$$h_{\text{тр.}} = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{2c \cdot \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}, \qquad (16.4)$$

Скольжение оползневого тела по произвольной ломаной линии, предопределенной геологическим строением, может быть проанализировано с использованием метода "приспособленного откоса" Г.М.Шахунянца [16]. Здесь также оползневое тело разбивается на отсеки, число которых обычно определяется числом прямолинейных отрезков поверхности скольжения. Рассматривается условие равновесия i -го отсека (рис.16.3). На вертикальные грани отсека вследствие воздействия соседних отсеков приложены силы оползневого давления E_{i-1} и E_i, направленные под углами β_{i-1} и β_i от нормалей к граням отсека. Составляющие веса P_i отсека определяются по тем же формулам, как и в предыдущем расчете. При этом a_i – угол наклона i -го отрезка линии скольжения к горизонтали. Составляются уравнения равновесия путем проекции всех сил на нормаль к основанию отсека и на направление поверхности скольжения отсека

$$R_i = N_i + E_i \sin(a_i - \beta_i) - E_{i-1} \cdot \sin(a_i - \beta_{i-1}); \qquad (16.5)$$

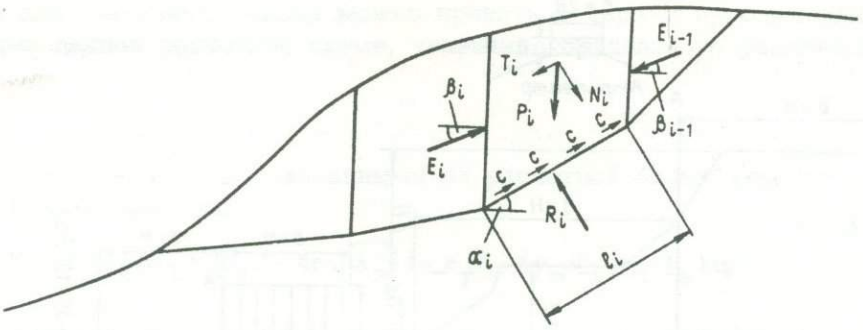


Рис.16.3. Схема к расчету устойчивости оползневого склона методом прислоненного откоса

$$T_i = c_i l_i + R_i \operatorname{tg} \varphi_i + E_i \cos(a_i - \beta_i) - E_{i-1} \cos(a_i - \beta_{i-1}), \qquad (16.6)$$

где R_i – нормальная составляющая реакции основания i -го отсека. Из этих уравнений находится выражение для определения величины оползневого давления E_i, умножая величину сдвигающей силы на коэффициент запаса устойчивости $K_{зап.}$ и, принимая, что

$$\operatorname{tg} \varphi \sin(a - \beta) + \cos(a - \beta) = \frac{\cos(a - \beta - \varphi)}{\cos \varphi}; \qquad (16.7)$$

$$E_i = \frac{(K_{зап.} P_i \sin a_i - P_i \cos a_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i - c_i l_i) \cdot \cos \varphi_i}{\cos(a_i - \beta_i - \varphi_i)} + E_{i-1} \frac{\cos(a_i - \beta_{i-1} - \varphi_i)}{\cos(a_i - \beta_i - \varphi_i)}. \qquad (16.8)$$

Вычисления оползневых давлений производят последовательно, начиная с верхнего отсека, для которого $E_{i-1} = 0$. Коэффициент запаса устойчивости определяют подбором таким образом, чтобы оползневое давление самого нижнего отсека E_n оказалось равным 0. Углы β_i и β_{i-1} принимаются равными 0, когда силами взаимодействия между отсеками можно пренебречь, или приравнивают их углам внутреннего трения грунтов соответствующих отсеков. Метод "прислоненного откоса" позволяет сравнительно просто определить величину оползневого давления в любом сечении оползневого тела, что оказывается чрезвычайно полезным при проектировании противооползневых мероприятий.

Оползни выдавливания (сдвига)

Как известно, стадия основного смещения данного типа оползня (см. главу 2) наступает, когда от плато отчленяется новый оползневой блок и, соответственно, резко возрастает интенсивность смещений всего оползневого склона. Естественно, инженера-геолога в данном случае интересует оценка устойчивости краевой части плато и, в частности, когда наступает состояние ее предельного равновесия, предшествующее отчленению нового оползневого блока. Г.П.Постоевым [2,10] предложено для приближенного расчета устойчивости краевой части плато блоковых оползней выдавливания (сдвига) использовать принципы расчета устойчивости массивной подпорной стенки на сдвиг по грунтовому основанию. На использование данного метода указывают следующие предпосылки [2]. Для оползней данного типа характерно наличие глинистой толщи достаточной мощности, активно деформирующейся, в которой находится основная горизонтальная (или почти горизонтальная) поверхность скольжения оползневого тела, и также мощной перекрывающей толщи пород, оказывающей на деформирующуюся глинистую толщу вертикальное давление. Оползни данного типа имеют также название "оползни раздавливания". Если нагрузка на глинистую толщу превышает структурную проч-

5386

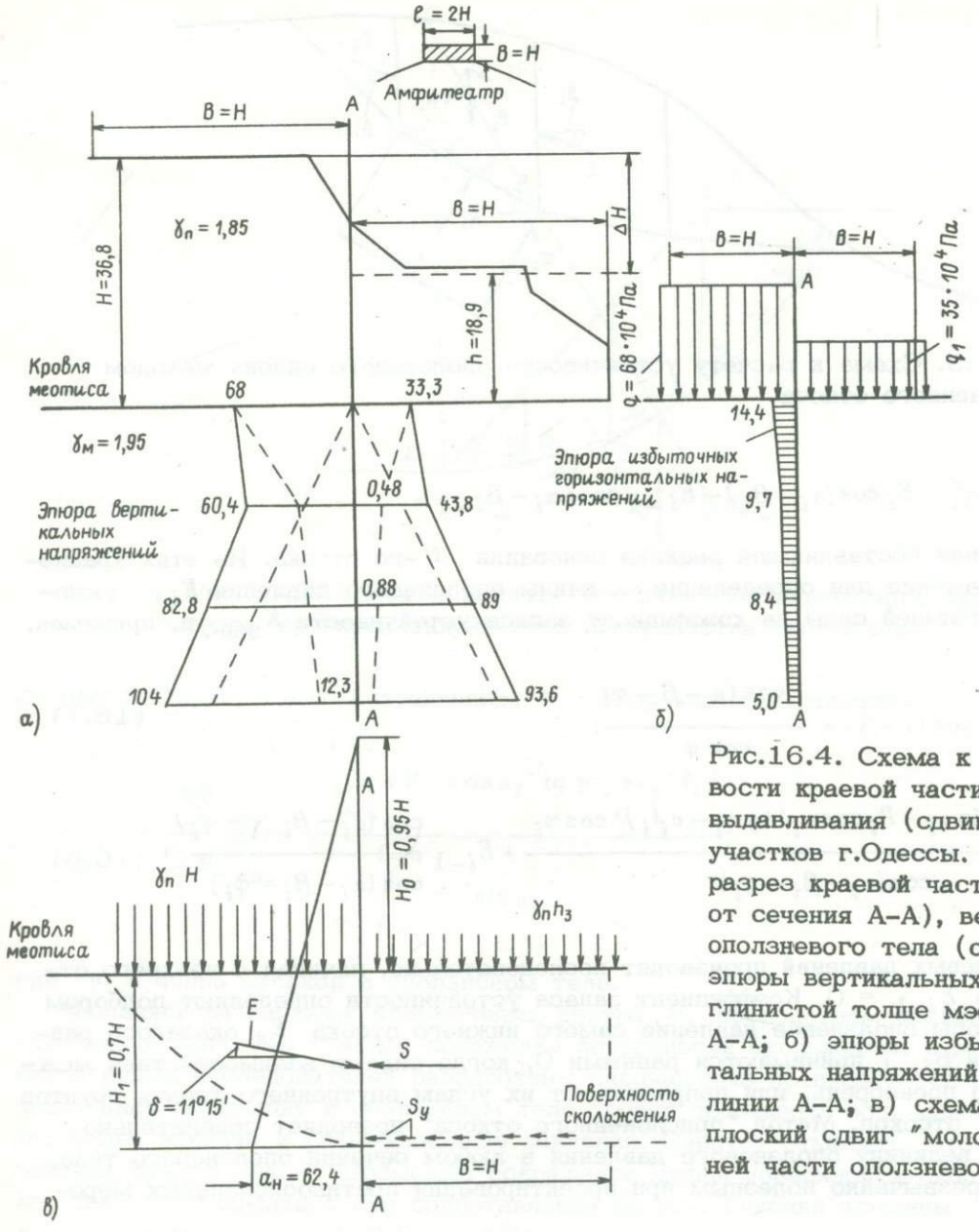


Рис.16.4. Схема к расчету устойчивости краевой части плато оползня выдавливания (сдвига) одного из участков г.Одессы. а) схематический разрез краевой части плато (слева от сечения А–А), верхней части оползневого тела (справа от А–А) и эпюры вертикальных напряжений в глинистой толще мэотиса по линии А–А; б) эпюры избыточных горизонтальных напряжений в мэотисе по линии А–А; в) схема расчета на плоский сдвиг "молодого" блока верхней части оползневого тела

ность данного грунта, то его устойчивость может быть сохранена лишь в условиях невозможности бокового расширения. В краевой части плато, когда примыкающий к ней "молодой" оползневой блок опустился на ΔH (рис.16.4), создаются условия ограниченного бокового расширения грунта глинистой толщи в сторону оползневого склона. Этому способствуют возникшие в данном сечении избыточные горизонтальные напряжения (рис.16.4,б). До тех пор пока ΔH невелика, т.е. пригрузка q_1 со стороны оползневого склона на глинистую толщу значительна, деформации грунтов толщи или отсутствуют или составляют небольшие величины. Состояние предельного равновесия краевой части плато наступает, когда активное давление E сформированной вследствие постепенно возрастающего перепада давлений между q и q_1 (см.рис.16.4,б) призмы на прилегающий к плато "молодой" блок уравновешивается сопротивлением сдвигу этого блока по имеющейся поверхности скольжения (рис.16.4,в). Поскольку деформации глинистой толщи краевой части плато в допредельном состоянии, как это хорошо известно из натурных наблюдений, невелики, то оползневое тело, состоящее из нескольких в разной степени деформировавшихся блоков, воспринимает их только самым "молодым" блоком шириной B (см.рис.16.4.а). Поверхность скольжения для данного типа оползня и,

5386

соответственно, для "молодого" блока можно принять в первом приближении горизонтальной. Согласно данной расчетной схеме, уравнение предельного равновесия записывается:

$$E \cdot \cos\delta = S. \qquad (16.9)$$

В соответствии с обозначениями, указанными на расчетной схеме (см. рис.16.4), уравнение равновесия принимает вид:

$$K_{зап.} = \{\frac{1}{2} H_1 [\gamma_м \lambda_a (H_1 + 2H_0) - 4c\sqrt{\lambda_a}]\} = c_y B + (\gamma_м H_1 + \gamma_п h_э)\operatorname{tg}\delta, \qquad (16.10)$$

где H_1 – мощность пород глинистой толщи, вовлеченной в оползневой процесс; $\gamma_м$, $\gamma_п$ – объемная масса соответственно глинистой толщи (меотических глин) и перекрывающей толщи; λ_a – коэффициент активного давления грунтов глинистой толщи, определяемый по известным значениям угла внутреннего трения грунтов, угла наклона кровли глинистой толщи к горизонту, угла наклона воображаемой стенки (можно принять равным 0) и угла трения грунта о стенку (принимается для условия трения грунта по грунту по существующей поверхности скольжения, т.е. для условия установившегося сопротивления сдвигу); H_0 – воображаемая мощность глинистого грунта взамен распределенной пригрузки, $H_0 = \frac{\gamma_п H}{\gamma_м}$ (16.10а); H – мощность перекрывающей толщи; c – среднее сцепление грунтов глинистой толщи; δ, c_y – угол внутреннего трения и сцепление установившегося сопротивления сдвигу по существующей поверхности скольжения, выраженные через эффективное напряжение; $h_э$ – высота прямоугольника с основанием B, эквивалентного по площади на схеме части разреза "молодого" блока оползневого тела, расположенной выше отметки кровли глинистой толщи, $h_э = H - \Delta H$; (16.10б); ΔH – вертикальная амплитуда смещения "молодого" блока.

Принимая $K_{зап.} = 1$ и подставляя в уравнение равновесия известные величины, выражая неизвестные через H и $\Delta H_{кр.}$, для оползневых склонов города Одессы получены следующие уравнения:

При $c = 0{,}17$ МПа и $\varphi = 13^{\circ}10'$

$$\frac{\Delta H_{кр.}}{H} = \left(\frac{53}{H} - 0{,}9\right) \cdot 100\%. \qquad (16.11)(а)$$

При $c = 0{,}13$ МПа и $\varphi = 19^{\circ}$

$$\frac{\Delta H_{кр.}}{H} = \left(\frac{36}{H} - 0{,}39\right) \cdot 100\%. \qquad (16.12)\ (б)$$

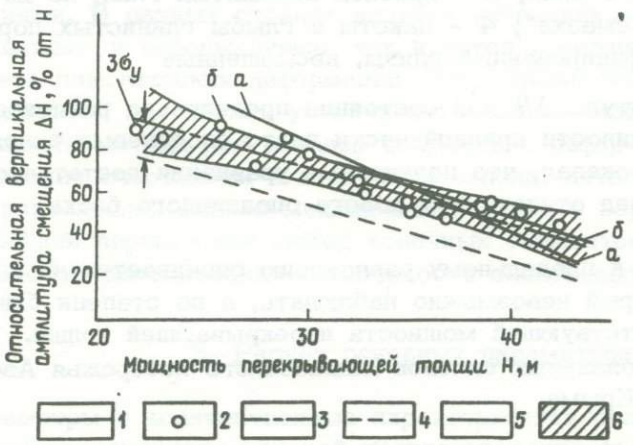


Рис.16.5. Зависимость критического значения относительной вертикальной амплитуды смещения оползневого тела от мощности перекрывающей толщи. 1 – графики, построенные в соответствии с уравнениями равновесия а и б; 2 – наблюденные значения $\frac{\Delta H_{кр.}}{H}$; 3 – эмпирическая зависимость $\frac{\Delta H}{H} = f(H)$; 4 – нижний 3^{x} – сигмовый предел линии регрессии; 5 – доверительные пределы; 6 – зона доверительной вероятности $P = 0{,}999$

5386

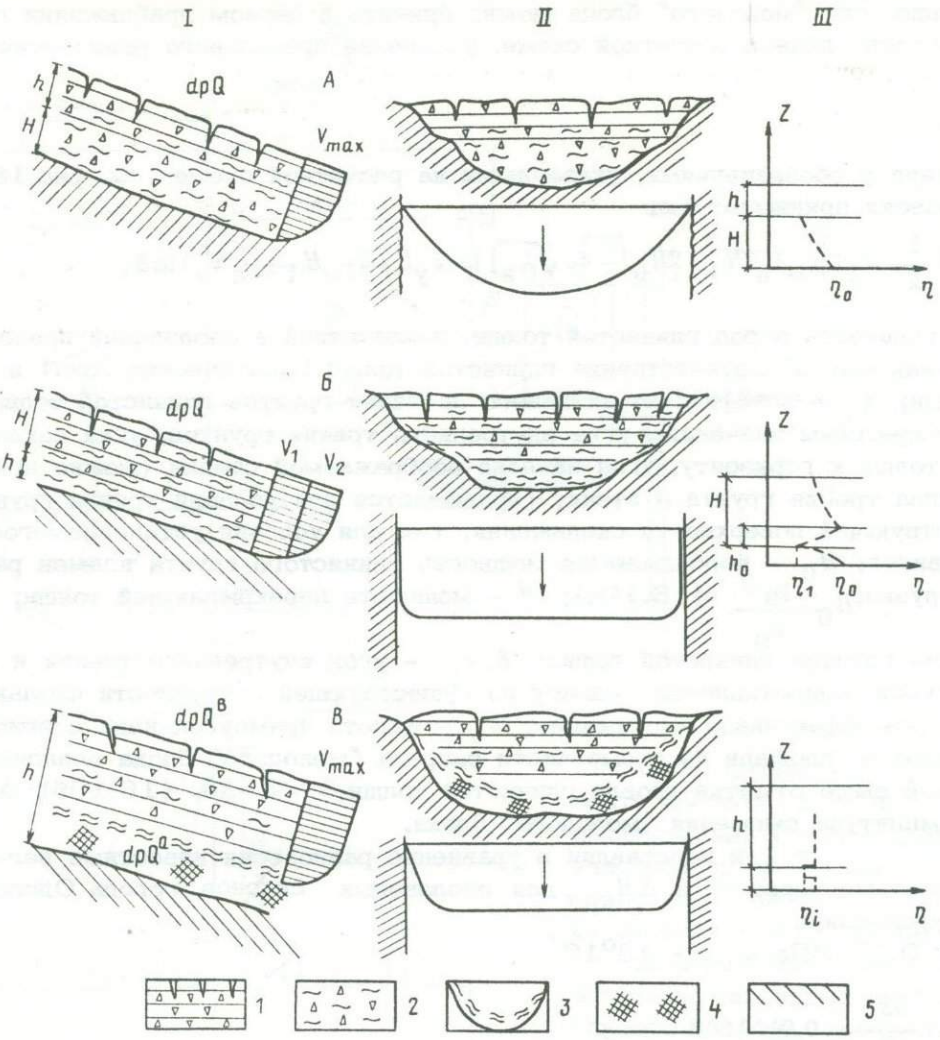


Рис.16.6. Инженерно-геологические схемы к расчету скоростей движения оползней течения (по К.Ш.Шадунцу); I – продольный разрез оползня; II – поперечное сечение оползня течения и эпюра перемещений в плане; III – изменение вязкости по глубине; А – течение при жестком закреплении по ложу и бортам оползня; Б – "проскальзывание" без закрепления в ложе и бортах оползня; В – течение при "упругом закреплении" по ложу и бортам оползня; 1 – обломочно-глинистые трещиноватые оползневые массы; 2 – водонасыщенные глинистые массы градиентного слоя; 3 – прослой перемятых глин, по которому происходит скольжение, "смазка"; 4 – пакеты и глыбы глинистых пород оползневых отложений; 5 – литифицированные глины, несмещенные

Здесь $\Delta H_{кр.}$ – вертикальная амплитуда ΔH для состояния предельного равновесия. Анализ 16 случаев нарушения устойчивости краевой части плато оползневых склонов Одесского побережья Черного моря показал, что полученные уравнения достаточно хорошо отражают реальные условия перед отчленением нового оползневого блока (рис.16.5).

Приближение краевой части плато к предельному равновесию оценивается не коэффициентом запаса устойчивости, который невозможно наблюдать, а по степени близости реальной ΔH к $\Delta H_{кр.}$ при соответствующей мощности перекрывающей толщи. Данный метод апробирован также для оползневых склонов Ждановского побережья Азовского моря и Керченского полуострова Крыма.

5386

Оползни течения

Для оползней течения характерно значительное превышение длины оползня над его шириной, что затрудняет использование расчетных схем в плоской задаче. К.Ш.Шадунцем [17,18] получены выражения для определения скорости смещения оползней течения с учетом механизма движения оползневого тела в ложе и геологического строения склонов. Им предложены следующие три расчетные схемы для сформировавшихся оползней течения (рис.16.6).

1. Оползни течения, образующиеся в элювии литифицированных глинистых пород. Для них характерно значительное трение по ложу и бортам, что вызывает изменение скорости от нуля до максимума по параболическим кривым снизу вверх и от бортов к середине потока (рис.16.6а).

2. Случай, когда на контакте с подстилающими выветрелыми породами возможно образование "глинистой смазки" с относительно низкой вязкостью. При этом происходит "проскальзывание", и в связи с этим отсутствует "закрепление по ложу и бортам" (рис.16.6б) и трение по контакту не учитывается.

3. Оползень течения в оползневых отложениях, когда вдоль бортов и ложа оползня образуются слои из перемятых водонасыщенных глинистых масс с пониженной вязкостью, но соизмеримой с вязкостью оползневых отложений. Здесь принимается схема упругого закрепления (рис.16.6.в).

Выражения для определения максимальных скоростей движения оползней течения для перечисленных расчетных схем довольно громоздки и здесь не приводятся. Однако проведение расчетов на ЭВМ позволяет широко их использовать для прогнозирования скорости течения в зависимости от влажности оползневых масс, если производятся натурные наблюдения за ее изменчивостью во времени.

О расчете по деформациям

Основные перспективы расчета оползневых склонов по деформациям связаны с применением метода конечных элементов, нашедшего широкое использование для решения задач теории упругости применительно к различным сооружениям [22]. Сущность данного метода заключается в том, что рассматриваемый объект разбивается на отдельные элементы простейшей формы (чаще треугольной), связанные между собой в узлах. Неизвестные перемещения в каждом узле определяются посредством решения канонических уравнений, которые учитывают перемещения других узлов и действующую нагрузку. Известны случаи успешного применения метода конечных элементов для анализа напряженно-деформированного состояния насыпных земляных сооружений. Однако расчеты данным методом природных оползневых склонов применяются пока крайне редко. Это объясняется сложностью детальной схематизации разнородных геологических условий, а также трудностью отображения в расчетной схеме истинной связи между напряжениями и деформациями. В разных странах ведутся интенсивные поиски как обобщенной связи между напряжениями и деформациями, так и путей совершенствования методики расчетов в целях учета пластических деформаций. Уже имеющийся опыт использования метода конечных элементов для оценки устойчивости оползневых склонов [9] выявил большие возможности метода для анализа напряженно-деформированного состояния склона при варьировании очертанием и строением склона, детальностью его схематизации и значениями показателей физико-механических свойств пород. Все это позволяет надеяться,что в ближайшей перспективе метод конечных элементов займет достойное место среди других способов рассмотрения устойчивости оползневых склонов.

3. Расчет основных параметров селевого потока

Параметры и количественные характеристики селевых потоков, а также условий их формирования являются основой прогнозирования селей, обоснованием проектирования и расчета противоселевых мероприятий. В соответствии с представлениями М.Ф.Срибного, Д.Л.Соколовского, С.М.Флейшмана, И.И.Херхеулидзе, М.С.Гогошидзе, Ю.Б.Виноградова,

А.И.Шеко и др. к основным параметрам селевого потока относятся: 1) максимальная и средняя скорость; 2) максимальный и средний расход; 3) средняя плотность и предельное насыщение твердой фазой; 4) объем; 5) транспортирующая способность, максимальный размер транспортируемых валунов и глыб.

Основными параметрами, характеризующими условия формирования селевых потоков, являются: а) критические значения селеформирующих осадков и стока (для эрозионных и эрозионно-оползневых очагов); б) гранулометрический состав склоновых отложений, являющихся источником твердой составляющей селей; в) критические значения размывающих скоростей (для эрозионных очагов); г) критические значения влажности склоновых отложений (для оползневых очагов); д) повторяемость селей. Скорость движения селевого потока является важнейшей характеристикой, определяющей его динамику и разрушительную способность. Определение и расчет скоростей течения селевых потоков - один из самых сложных вопросов в селевой проблеме, окончательно еще не решенный. В многочисленных работах, посвященных этому вопросу, приводятся различные расчетные модели и схемы определения скоростей разных по составу, структуре и свойствам селевых потоков. Наиболее полный обзор их приводится в работах С.М.Флейшмана [14], И.И.Херхеулидзе [15], Ю.Б.Виноградова [1].

Все известные формулы для определения осредненной во времени максимальной скорости движения С.М.Флейшман [14] разделяет на две группы: 1) основанные на формуле Шези; 2) формулы, в которых скорость связывается с предельным размером транспортируемых потоком наносов. В качестве примера, представляющего первую группу, приведем формулу из первого в СССР междуведомственного нормативного документа "Инструкция по определению расчетных характеристик дождевых селей ВСН 03-76" [5], разработанного в Закавказском научно-исследовательском гидрометеорологическом институте. О наличии подобного рода нормативных документов в зарубежной практике сведения отсутствуют. Формула, автором которой является И.И.Херхеулидзе, выглядит следующим образом:

$$v = 1.14\sqrt{h_{ср}}\sqrt[3]{I_y w_{от.}}, \qquad (16.13)$$

где $h_{ср}$ - средняя глубина потока в метрах, I_y - средний уклон русла на расчетном участке, ‰; $w_{от.}$ - коэффициент текучести селевой массы (ф-ла 16.43). Эта формула, считает автор, правомерна как для связных, так и для несвязных селей, на основании предположения о том, что коэффициент текучести селевой массы отражает все виды внутренних сопротивлений движению, возникающих в потоке. Максимальную поверхностную скорость селей Инструкцией рекомендуется определять по формуле:

$$v_{макс.} = 1{,}8\, v_{ср.} \qquad (16.14)$$

Формула для определения скорости течения селевого потока на неразмываемых участках русел, предложенная И.И.Херхеулидзе, следующая:

$$v_{ср.} = \frac{1}{n_H} R^{2/3} \sqrt{I_y} \sqrt{\frac{1 - S_{ор.}}{1 + S_{ор.}(\gamma_T - 1)}}, \qquad (16.15)$$

где n_H - коэффициент шероховатости русла, R - гидравлический радиус в метрах, $S_{ор.}$ - расчетная концентрация твердого материала для пиковой фазы селя (ф-ла 16.38) γ_T - удельный вес твердой фазы (наносов).

Из формул второй группы заслуживают внимания предложенные И.В. Егиазаровым расчетные зависимости на основании выведенного им критериального уравнения транспорта наносов несвязным потоком [3,4]. Определение скорости, по И.В.Егиазарову, дало хорошее совпадение с натурой для ряда рек Армянской ССР. Одна из формул И.В.Егиазарова связывает скорость селевого потока с максимальным линейным размером транспортируемых потоком наносов и уклоном русла при данном коэффициенте сопротивления и позволяет определить скорость при неизвестных размерах потока (глубина, площадь сечения):

$$v_{ср.} = (1 - \beta e^{-\frac{\rho' f_0}{I}})(17.7 \lg \frac{\rho' f_0}{I}) \sqrt{\rho' f_0 d_{макс.}}, \qquad (16.16)$$

где ρ' – объемный вес наносов в т/м^3 (аналогичен $\gamma_т$), e – основание натуральных логарифмов, β – коэффициент, учитывающий степень однородности наносов, равный для однородных наносов – 1, для неоднородных – 0,5, I – уклон, f_0 – коэффициент сопротивления размываемого русла, определяемый по формуле:

$$f_0 = \frac{0,1}{(\lg 19 \frac{d_{макс.}}{d})^2}, \qquad (16.17)$$

где $d_{макс.}$ и d – соответственно максимальный и средневзвешенный диаметр наносов.

Другая формула И.В.Егиазарова для селевых турбулентных потоков включает в себя гидравлический радиус R, в этом случае максимальная крупность наносов $d_{макс.} < d_0$ – предельной крупности наносов, соответствующей данному режиму, поэтому:

$$v = (1 - \beta e^{-\frac{R}{f_0}})(17.7 \lg \frac{R}{d_0} + 20) \sqrt{\rho' f_0 d_0} \qquad (16.18)$$

d_0 определяется из выражения: $d_0 = \frac{RI}{\rho' f_0}$.

С.М.Флейшман [14] считает целесообразным определять по формулам первой группы, основанным на структуре формулы Шези, среднюю расчетную скорость несвязного селя, а по формулам второй группы, основанным на предельной транспортирующей способности потока по отношению к крупным включениям, передвигающую скорость для обломков расчетного размера в рассматриваемом створе (т.е. минимальную). Для приближенного определения передвигающей скорости на основании максимальных размеров отложившегося селевого материала, при отсутствии экспериментальных и натурных данных, позволяющих применить приведенные выше формулы, рекомендуется использовать формулу Тьери, как наиболее простую и в то же время дающую результаты, близкие к действительным [14]:

$$v = \sqrt{\frac{df(\gamma_т - \gamma_с)}{K_ф \gamma_т} \cos a}, \qquad (16.19)$$

где d – линейный размер включений в метрах, f – коэффициент трения, равный 0,7–0,8; $\gamma_т$ – объемный вес включений в т/м^3; $\gamma_с$ – объемный вес селевого потока в т/м^3; $K_ф$ – коэффициент формы включений, равный $\approx 0,076$, a – угол уклона русла в градусах.

Эта формула обычно приводится к виду:

$$v = a \sqrt{d_{max}}, \qquad (16.20)$$

где: a – параметр, интегрально учитывающий все элементы формулы, кроме размеров включений, равный 3,5–4,5.

В разработке методов расчета расходов селевых потоков Ю.Б.Виноградов выделяет два направления [1]. Первое намечено в работах М.Ф.Срибного, Д.Л.Соколовского и др. и основано на переходе от водного расхода к селевому посредством соответствующего коэффициента. Это направление представлено исследованиями А.С.Деговца, С.М.Флейшмана, И.И.Херхеулидзе и др., в соответствии с которыми максимальный расход селевых потоков $Q_с$ связан с водным $Q_в$ зависимостью:

$$Q_c = KQ_в, \qquad (16.21)$$

где К – коэффициент селеопасности, определяемый по степени селеопасности селевого бассейна (И.П.Смирнов, А.С.Деговец и др.). По С.М.Флейшману это комплексный коэффициент (η), величина которого колеблется от 2 до 18 и более в зависимости от характеристик селеформирующего бассейна и механизма зарождения селей (таблица 16.1).

Таблица 16.1

Значения комплексного коэффициента η (по С.М.Флейшману)

Характеристика селеформирующего бассейна		Значения η при различных механизмах селеформирования		
Русловая сеть и характер движения селей	Площадь бассейна F км^2	Чисто эрозионные механизмы формирования селей (склоновая и русловая эрозия)	Смешанные механизмы (эрозия плюс дополнительное питание за счет обрушения и др.	Сдвиговые механизмы (оползни, обвалы, крупные обрушения берегов)
Водосборы с одним селевым руслом при К* от 1 до 1,5 и отсутствии резко выраженных заторных участков	50	2-3	4-5	5-6
	10-50	3-4	5-6	7-8
	10	4-5	6-7	8-9
Водосборы с несколькими селевыми руслами или одним при К от 1,5 до 2,0 и наличии заторных участков	50	3-4	5-6	8-10
	10-50	4-5	6-7	8-12
	10	5-6	7-8	9-14
Водосборы с сильно извилистыми руслами (К> 2,0) при резко выраженном движении селей отдельными валами (волнами)	50	4-5	6-10	11-15
	10-50	5-6	7-11	12-16
	10	6-7	8 12	13-18 и более

* К – коэффициент, характеризующий соотношение между средней и максимальной скоростями селевого потока.

Ряд формул для определения максимального селевого расхода предложен И.И.Херхеулидзе на основании анализа и статистической обработки имеющихся натурных данных, приведенных в инструкции Государственного комитета по гидрометеорологии и контролю природной среды по расчету дождевых селей [5]. Максимальный расход селей, сформировавшихся ливневыми осадками, определяется по формуле:

$$Q_c = q_{1\%}{}^m Q^{\lambda'_p} \left(\frac{1}{w_{от}}\right) F, \qquad (16.22)$$

где $q_{1\%}$ – модуль максимального дождевого стока вероятностью превышения $p = 1\%$, определяемый в зависимости от бассейнового времени добегания τ, равного:

$$\tau = \frac{L}{2.45\sqrt[4]{I}}, \qquad (16.23)$$

где L – длина реки по основному тальвегу от водораздела до замыкающего створа в км; I – средний уклон реки в $^0/_{00}$; $w_{от}$ – коэффициент текучести селевой массы; m_Q – коэффициент, зависящий от физико-географического районирования и меняющийся от 0,75 до 1,25; λ'_p – переходный коэффициент от селевого расхода обеспеченностью $p = 1\%$ к расходу другой обеспеченности.

Максимальный расход при прорыве завала или плотины в Инструкции рекомендуется определять по формуле:

$$Q_з = KBH^{1,5}, \tag{16.24}$$

где K – коэффициент, зависящий от формы живого сечения прорана (1,7, 1,0 и 0,6 для прямоугольной, параболической и треугольной соответственно); H – высота подпертого горизонта над дном прорана в метрах; B – ширина прорана на уровне, составляющем $2/3H$, в метрах.

Второе направление в разработке методики расчета характеристик селей, в том числе и расходов, связано с попытками описания селевых процессов в селевых очагах и представлено работами Т.Г.Войнич-Сяножецкого, Г.М.Беручашвили, Ю.Б.Виноградова и др.

Для расчета объемов селей существуют различные формулы. Наиболее известными являются формулы, предложенные Д.Л.Соколовским [11].

$$W = 1000\, h_H F, \tag{16.25}$$

где: h_H – разовый слой наносов, отнесенный ко всей площади бассейна, который принимается равным от 5 до 15 мм для низкогорных и среднегорных бассейнов и до 20-25 мм для высокогорных; F – площадь водосбора в км^2; W – в м^3. По мнению С.М.Флейшмана, более совершенной является другая формула Д.Л.Соколовского:

$$W = 1000 H \alpha \beta F, \tag{16.26}$$

где H – слой осадков, вызвавший паводок, в мм; α – коэффициент стока, принимаемый для высокогорных бассейнов равным 0,50-0,70, для среднегорных 0,25-0,50, для низкогорных 0,10-0,25; β – объемное содержание наносов в потоке (на 1 м^3 воды), колеблющееся от 0,03 до 0,50 (по мнению С.М.Флейшмана – 0,10-0,70 и более). Эта формула дает хорошие результаты для селевых бассейнов с эрозионными очагами зарождения.

Действующая Инструкция по расчету характеристик дождевых селей [4] рекомендует определять объем селей W_c как произведение объема дождевого паводка $W_в$ на коэффициент селенасыщенности Ψ_W

$$W_c = W_в \Psi_W; \; W_в = q_{1\%} m_Q \lambda'_p F G_p \cdot 10^3, \tag{16.27}$$

где G_p – коэффициент, зависящий от времени добегания τ и обеспеченности селя p %, определяемый по таблицам; F – площадь водосбора, км^2; λ'_p – переходной коэффициент от селевого расхода обеспеченностью $p = 1\%$ к расходу другой обеспеченности; $q_{1\%}$ – модуль максимального дождевого стока вероятностью превышения $p = 1\%$ определяемый в зависимости от бассейнового времени добегания τ; m_Q – коэффициент, зависящий от физико-географического района, меняющийся от 0,75 до 1,25.

Большинство расчетных формул и методов определения скоростей, расходов и объемов селей содержат в том или ином виде среднюю плотность селевых потоков γ_c, непосредственное определение которой представляет собой сложный и окончательно не решенный вопрос. Определение γ_c имеет большое практическое значение, в частности, для расчета ударного динамического воздействия селевого потока на различные сооружения.

По С.М.Флейшману, объемная и весовая концентрация твердого материала в селевом потоке (S и p), наносо-водное отношение $S_в$ (β_0), мутность потока S^*_p и его средняя плотность γ_c связаны между собой следующими соотношениями:

$$S_в(\beta_0) = \frac{S}{1-S} = \frac{p\gamma_в}{\gamma_т(1-p)} = \frac{S^*}{\gamma_т - S^*} = \frac{\gamma_c - \gamma_в}{\gamma_т - \gamma_c}, \tag{16.28}$$

$$S = \frac{S_в}{1+S_в} = \frac{p\gamma_в}{\gamma_т(1-p)} = \frac{S^*}{\gamma_т} = \frac{\gamma_с-\gamma_в}{\gamma_т-\gamma_в}, \qquad (16.29)$$

$$p = \frac{S\gamma_т}{(1-S)\gamma_в + S\gamma_т} = \frac{S_в\gamma_т}{S_в\gamma_т + \gamma_в} = \frac{\gamma_т(\gamma_с-\gamma_в)}{\gamma_с(\gamma_т-\gamma_в)}, \qquad (16.30)$$

$$S^* = S\gamma_т = \frac{p\gamma_в\gamma_т}{(1-p)\gamma_т + p\gamma_в} = \frac{S_в\gamma_т}{1+S_в} = \gamma_т\frac{\gamma_с-\gamma_в}{\gamma_т-\gamma_в}. \qquad (16.31)$$

На рис.16.7 показаны зависимости, наиболее часто встречающиеся в практике, при пользовании расчетными формулами по определению скоростей, расходов и других параметров селевых потоков; между средней плотностью потока, его объемной и весовой концентрацией. В бассейнах с эрозионными очагами зарождения селей концентрация твердой фазы в водном и селевом потоках определяется, по мнению А.И.Шеко, следующими факторами:

$$C_т = f(v_р, l, Q_в), \qquad (16.32)$$

где $v_р$ – скорость размыва русла водотока; l – длина очага; $Q_в$ – расход воды.

В явном виде эта зависимость представлена [19] в следующем виде:

$$C_т = \frac{W_т l}{Q_в}, \qquad (16.33)$$

где $W_т$ – расход твердой фазы с единицы длины, $м^2/с$; $Q_в$ – расход воды с учетом влажности размытой породы, $м^3/с$; l – расстояние от головы очага до рассматриваемого створа, м.

В связи со значительной сложностью определения плотности селевых потоков γ_S расчетным путем, С.М.Флейшман на основании массовых обследований селевых отложений и теоретического анализа возможных концентраций твердого материала в селевых потоках различных типов и состава, а также лабораторных определений, предлагает в качестве осредненных в первом приближении значений γ_S следующую их шкалу:

1) для бассейнов с эрозионным механизмом формирования объем твердой составляющей пропорционален водному питанию, твердый материал представлен в основном мелкоземом (водно-пылеватые и водно-песчаные несвязные сели – от 1,1 до 1,3 $т/м^3$;

2) селевые бассейны аналогичных механизмов селеформирования, но с крупнообломочной по составу твердой составляющей, а также бассейны с другими механизмами селеформирования, со связными и несвязными грязевыми селями – 1,3–1,5 $т/м^3$;

3) селевые бассейны комбинированных механизмов селеформирования, в которых образуются связные и несвязные грязекаменные сели, в значительной степени насыщенные крупнообломочным материалом – 1,5–1,7 $т/м^3$;

4) селевые бассейны, характеризующиеся, главным образом, формированием связных густогрязекаменных и каменно-грязевых селей, обусловленных нарушением равновесий и переходом в текучее состояние морен, оползневых массивов в зависимости от степени содержания в них крупнообломочного материала – от 1,7 до 1,9 $т/м^3$.

Определение предельно возможного содержания твердой фазы в селевых потоках осуществляется на основе различных принципов.

М.А.Мостков [8] предельную объемную концентрацию твердой составляющей в несвязном селе ($S_{пр}$) связывает с уклоном русла (i):

$$S_{пр} = \frac{1.21i}{1-2i}. \qquad (16.34)$$

В "Инструкции по определению расчетных характеристик дождевых селей" [5] пре-

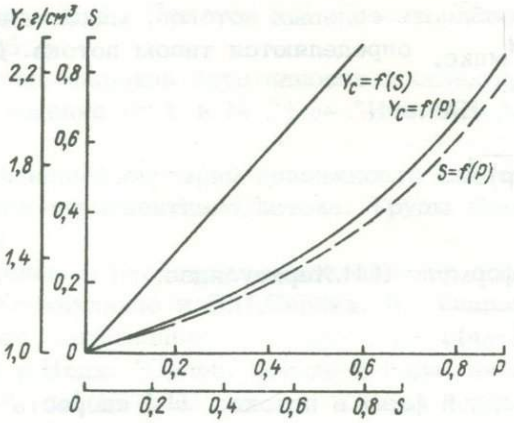


Рис.16.7. Зависимость между плотностью и концентрацией твердой фазы (по С.М.Флейшману)

дельную объемную концентрацию твердых материалов в селевой массе, при которой она теряет свойства текучести, рекомендуется определять по формуле:

$$S_{\text{пт}}^{i} = [1.33\,(1-K_0)+1.89\,S_{\text{ж}}K_0]\left[\frac{\gamma_{\text{т}}^{0,65}-1}{\gamma_{\text{т}}-1}\right], \tag{16.35}$$

где K_0 – относительное содержание в твердом компоненте глинистой фракции (< 0,002 мм); $S_{\text{ж}}$ – объемная концентрация глинистой фазы селевой массы на пределе текучести:

$$S_{\text{ж}} = \frac{1}{1+LL\,\gamma_{\text{т}}}, \tag{16.36}$$

где LL – значения предела текучести для глин различного минерального состава, находящиеся в диапазоне 0,25–0,75 (каолинитовые глины), 1,25–7,00 (монтмориллонитовые глины).

Для селей, не содержащих глинистых фракций, предельная концентрация определяется величиной:

$$S_{\text{пт}} = \frac{\gamma_{\text{т}}^{0,65}-1}{\gamma_{\text{т}}-1}, \tag{16.37}$$

которая, согласно инструкции, не может превышать значения 0,67.

Расчетная концентрация твердого материала для пиковой фазы селя, согласно Инструкции, определяется по формуле:

$$S_{\text{ор}} = \frac{S_{\text{пт}}\lambda_{Sp}}{1+\dfrac{0,0555}{\mu(i:1000)^{X_2}}}. \tag{16.38}$$

Здесь λ_{Sp} переходный коэффициент от обеспеченности p = 1% к заданной обеспеченности (равный единице при p = 1%); μ – коэффициент селеопасности бассейна, определяемый по формуле:

$$\mu \geqslant 0,063\,i^{0,40}, \tag{16.39}$$

где i – средний уклон главного тальвега в °/₀₀.

$$X_2 = \frac{2.0}{(i+32)^{0.2}}. \tag{16.40}$$

5386

Транспортирующая способность селевых потоков, максимальный размер транспортируемых валунов и глыб $d_{макс.}$ определяются типом потока. Для несвязных потоков используется зависимость:

$$d_{макс.} = \frac{v^2}{9(\gamma_т - 1)(1-p)}, \qquad (16.41)$$

основанная на известной формуле И.И.Херхеулидзе:

$$v_{пр} = 3\sqrt{d}\,\sqrt{(\gamma_т - 1)(1-p)}, \qquad (16.42)$$

где p – концентрация твердой фазы в потоке; v – скорость селевого потока.

Другая формула И.И.Херхеулидзе связывает величину $d_{макс.}$ с глубиной потока h, уклоном русла i и коэффициентом текучести $W_{от}$, равным:

$$W_{от} = 1 - \frac{S_{ор}}{S_{пт}} \geqslant 0{,}050, \qquad (16.43)$$

$$d_{макс.} = \frac{0{,}585\,hi}{W^2_{от}}. \qquad (16.44)$$

Предельные размеры включений, транспортируемых связными селями, намного превышают максимально возможные размеры глыбового и валунного материала, переносимого несвязными селями.

На рис.16.8 и 16.9 показаны отношения $d_{макс.с.}/d_{макс.в.}$ и $\rho_{макс.с.}/\rho_{макс.в.}$, полученные экспериментально для одного из средних, характерных для связных селей сочетаний вязкости и плотности (при $\eta_э = 7$ пуазам и $\gamma_с = 1{,}58$ г/см^3), а также примерные зависимости между размерами обломков и скоростью их движения в связном грязевом потоке при указанных значениях $\eta_э$ и $\gamma_с$.

Определение параметров, характеризующих условия формирования селевых потоков, наиболее целесообразно производить на основании моделирования и экспериментальных исследований, в том числе натурных и режимных наблюдений, изучения состава, строения и свойств горных пород очагов зарождения, участвующих в селеформировании, прежде всего, их прочностных и водопрочностных характеристик. Методика этих исследований изложена ниже, в главе 17.

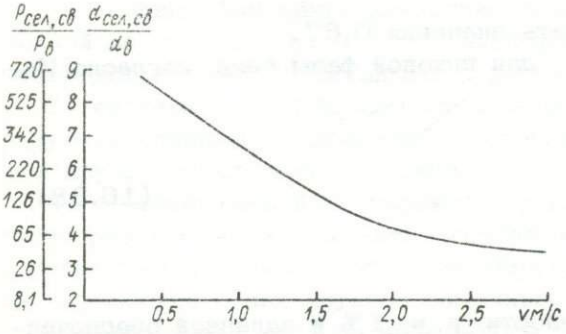


Рис.16.8. Зависимость между предельными размерами и весами обломков, транспортируемых селевым и водным потоком (по С.М.Флейшману).

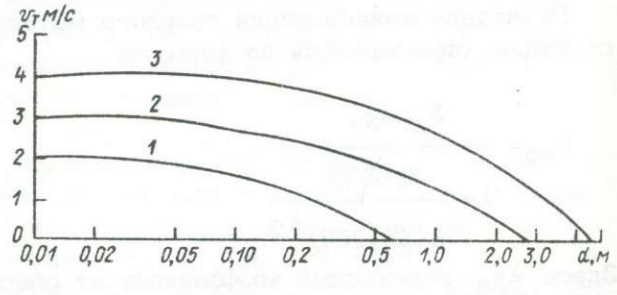


Рис.16.9. Зависимость между размерами включений и скоростью их движения в связном селевом потоке (по С.М.Флейшману). Кривые 1,2,3 соответствуют V = 2, 3 и 4 м/сек.

Литература

1. Виноградов Ю.Б. Методы расчета основных характеристик селевых потоков. Проблемы противоселевых мероприятий. Алма-Ата: Казахстан, 1979, с.55-71

2. Гулакян К.А., Кюнтцель В.В., Постоев Г.П. Прогнозирование оползневых процессов. М.: Недра, 1977, 135 с.

3. Егиазаров И.В. Влияние широкой сети наносов и самоотмостки русла на движение и расход наносов. (Сообщение № 1 и № 7). - "Изв. АН Арм ССР, СТН", № 2, 3, 1964, с.29-44

4. Егиазаров И.В. Обобщенный критерий подвижности наносов и определение пиковой скорости по следам селевого турбулентного потока. Труды АрмНИИВПиГ, т.1 (6), Ереван: 1967, с.295-299

5. Инструкция по определению расчетных характеристик дождевых селей ВСН 03-76. Ред. А.И.Чеботарев, И.И .Херхеулидзе и Б.И.Серпик. Л. Гидрометеоиздат, 1976, 27 с.

6. Казарян Н.Е. Расчет максимального селевого расхода по следам прошедшего паводка на примере бассейна р.Веди. "Селев. потоки и горн. руслов. процессы". Ереван: Изд-во АН Арм ССР, 1968, с.105-116

7. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними). Учеб. пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1977, 320 с.

8. Мостков М.А. Очерк теории руслового процесса. М.: Изд-во АН СССР, 1959, 216 с.

9. Опыт оценки устойчивости склонов сложного геологического строения методом конечных элементов и экспериментами на моделях. Ред. Г.С.Золотарев. М.: Изд-во МГУ, 1973, 277 с.

10. Постоев Г.П. К вопросу механизма и расчета устойчивости оползней "выдавливания". "Оползни и борьба с ними". Кишинев: "Штиинца", 1974, с.67-70

11. Соколовский Д.Л. Селевые паводки, их гидрологические особенности и методика расчета. "Метеорология и гидрология", Л.: Гидрометеоиздат, 1947, № 5, с.65-75

12. Указания по расчету устойчивости земляных откосов. Л.: "Энергия", 1967, 104 с.

13. Федоров И.В. Методы расчета устойчивости склонов и откосов. М.: Стройиздат, 1962, 204 с.

14. Флейшман С.М. Сели. Л.: Гидрометеоиздат, 1978, 312 с.

15. Херхеулидзе И.И. Скорость течения и русловые характеристики селевых потоков. Труды ЗакНИГМИ, 1972, вып.40 (46), с.134-180

16. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь. М.: "Транспорт", 1967, 615 с.

17. Шадунц К.Ш. Механизм оползней-потоков в глинистых породах. "Изв. вузов". Геология и разведка, М.: 1976, № 2, с.154-155

18. Шадунц К.Ш. Расчет скоростей движения оползней-потоков. "Геол. факторы формирования оползней и селев. потоков и вопросы их оценки". Изд-во МГУ, 1976, с.4-12

19. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. М.: Недра, 1980, 296 с.

20. Duncan J.M., Wright S.G. The accuracy of egulibrium methods of slope stability analysis. Proceed. Int. Symposium on Landslides. New Delhi, 1980, vol. 1, p.247–254

21. Morgenstern N.R., Sangrey D.A. Methods of Stability Analysis. Landslide. Analysis and Control. Special Report 176. National Academy of Sciences. Washington, D.C., 1978, p.155–171

23. Zienklewicz O.C., Cheung Y.K. The finite element method in structural and continuum mechanics. N.Y., London, MeGraw Hill, 1967

Глава 17

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ И СЕЛЕВЫХ ПРОЦЕССОВ

1. Общие положения

Как указывалось выше, оползни и сели представляют собой сложные природные процессы, проявляющиеся в большом многообразии их типов и особенностей развития, что вызвано сложностью и разнообразием геологических, гидрогеологических, геоморфологи-

ческих и других условий, в которых они протекают, а также разной степенью влияния на данные процессы тех или иных быстроизменяющихся факторов, в том числе техногенных. Данное положение стимулировало, наряду с описанными выше методами изучения и прогнозирования оползней и селей, развитие такого эффективного метода исследования, как физическое моделирование. В качестве инструмента исследования физическое моделирование предполагает эксперимент. Основой физического моделирования, позволяющей распространять количественные результаты экспериментальных исследований на соответствующие натурные объекты, является теория подобия [12]. Когда критерии подобия в эксперименте не соблюдаются, обобщению подвергается лишь качественная картина процесса при соблюдении сходства условий его протекания.

2. Моделирование оползневых процессов

Физическое моделирование оползневых процессов позволяет производить изучение механизма развития оползневых деформаций выявление основных оползнеобразующих факторов и закономерностей их связи с изменением напряженно-деформированного состояния склона, оценивать устойчивость оползневого склона и прогнозировать изменения параметров оползня, необходимые для решения многочисленных практических и научных задач.

Все методы физического моделирования, применяемые для изучения оползневых процессов, можно подразделить на лабораторные и натурные. В то же время лабораторное моделирование включает две группы методов. Испытание моделей склонов в интервале состояний по устойчивости "допредельно-предельное" производится методами фотоупругости, тензосетки и стереотензосетки, в которых должен соблюдаться в известных пределах закон упругости. Метод эквивалентных материалов и центробежное моделирование позволяют производить испытание моделей склонов в большом диапазоне состояний модели по устойчивости - "допредельное-запредельное". Из методов натурного моделирования известны сравнительно-геологический метод или метод аналогий и натурный эксперимент по искусственной активизации оползня ("провокация" оползня)

В основе моделирования в соответствии с теорией подобия лежат три условия, определяющие геометрическое (по размерам), кинематическое (по времени) и динамическое (по массе) подобия модели натурному объекту. Результаты моделирования переносятся на подобный натурный объект путем умножения полученных показателей на соответствующие постоянные множители. Например, если множитель геометрического подобия $a_l = \frac{l_н}{l_м}$, а множитель подобия объемных масс $a_\gamma = \frac{\gamma_н}{\gamma_м}$, то напряжения σ в натурном объекте определяется из условия

$$\sigma_н = \sigma_м \cdot a_l \cdot a_\gamma . \qquad (17.1)$$

Одним из определяющих критериев подобия является следующее выражение

$$K = \frac{N_м}{\gamma_м \cdot l_м} = \frac{N_н}{\gamma_н \cdot l_н} = idem . \qquad (17.2)$$

Исходя из этого критерия, в методах, где в моделях используется иной материал, чем грунты натурного объекта, свойства этого материала подбирают в соответствии с соотношением

$$N_м = \frac{l_м \cdot \gamma_м}{l_н \cdot \gamma_н} \cdot N_н . \qquad (17.3)$$

А если используют тот же грунт, как и в натурном объекте, т.е. $N_м = N_н$, то критерий подобия K указывает, что объемную массу модели необходимо увеличивать, согласно геометрическому подобию

Это возможно, например, при центробежном моделировании.

$$\gamma_м = \gamma_н \frac{l_н}{l_м} . \qquad (17.4)$$

Метод фотоупругости

В этом методе моделирование осуществляется на оптически активных материалах и основано на их свойстве приобретать под нагрузкой временное двойное лучепреломление. Метод позволяет сравнительно просто на базе основного закона фотоупругости, устанавливающего пропорциональную зависимость между оптическим эффектом и разностью главных напряжений, определять величины максимальных касательных напряжений [19]:

$$\Gamma = C_\sigma \cdot d_м (\sigma_1 - \sigma_2) \qquad (17.5) \qquad \text{или} \quad \Gamma = 2C_\sigma \cdot d_м \cdot \tau_{max}, \qquad (17.6)$$

где Γ – разность хода лучей, нм; C_σ – оптический коэффициент напряжений (константа интервала модели); $d_м$ – толщина модели м; σ_1 и σ_2 – главные нормальные напряжения, н/м^2; τ_{max} – максимальные касательные напряжения, н/м^2.

При изучении оползневых процессов, как правило, используют плоские модели и подбирают материал, который способен проявлять оптический эффект под действием собственного веса. Чаще применяют игдантин, в состав которого входят желатин, глицерин и вода. Более жесткие материалы, такие, как плексиглас, целлулоид, эпоксимал испытывают в поле центробежных сил. Разность хода может быть определена по методу сопоставления цветов, по методу полос и по методу компенсаций. Метод позволяет получить количественную информацию о распределении напряжений и широко используется для оценки устойчивости склонов [6,33].

Разработка новых модификаций метода, называемых методом фотопластичности и методом фотоползучести [32,38], показывает широкие перспективы его использования для исследования моделей и в за предельном состоянии при появлении деформаций ползучести.

Метод тензометрической сетки

Метод разработан в 50-х годах Н.С.Розановым [26]. Он основан на использовании закона Гука. По деформациям тензометрической сетки, нанесенной с помощью клише и типографской краски на поверхность модели перед установкой в вертикальное положение, определяются по формулам теории упругости нормальные вертикальные и горизонтальные, а также касательные напряжения. Допускается проявление в модели в ограниченных пределах и пластических деформаций. В этом случае в формулах для расчета напряжений вместо модуля упругости используется модуль деформации. В основном применяются низкомодульные материалы типа игдантина, агарина и т.д. Простота методики проведения эксперимента, отсутствие сложного и специального оборудования способствуют широкому распространению метода тензосетки для анализа напряженно-деформированного состояния склонов для решения ряда практических задач, связанных с оценкой устойчивости склона и выявления степени оползнеопасности [6,10].

Стереотензометрический метод

Одна из разновидностей метода тензометрической сетки впервые была предложена в Московском Государственном университете им.М.В.Ломоносова, А.А.Махориным и Б.М.Фаминицыным [18]. С помощью клише на поверхность модели из фотоупругих материалов наносятся марки в виде крестиков и двух концентрических окружностей вокруг них диаметром 10 и 20 мм. В процессе испытания модели производится фотосъемка ее поверхности на фотопластинку с уменьшением в 5 раз. Фотоаппарат должен быть жестко закреплен. Перемещения марок и деформации круговых ячеек определяются посредством обработки фотопластинок на стереокомпараторе, где в качестве стереопары выступают фотоснимки исходной и деформированной модели. Использование стереоэффекта и соответствующей аппаратуры позволяет значительно повысить точность измерений.

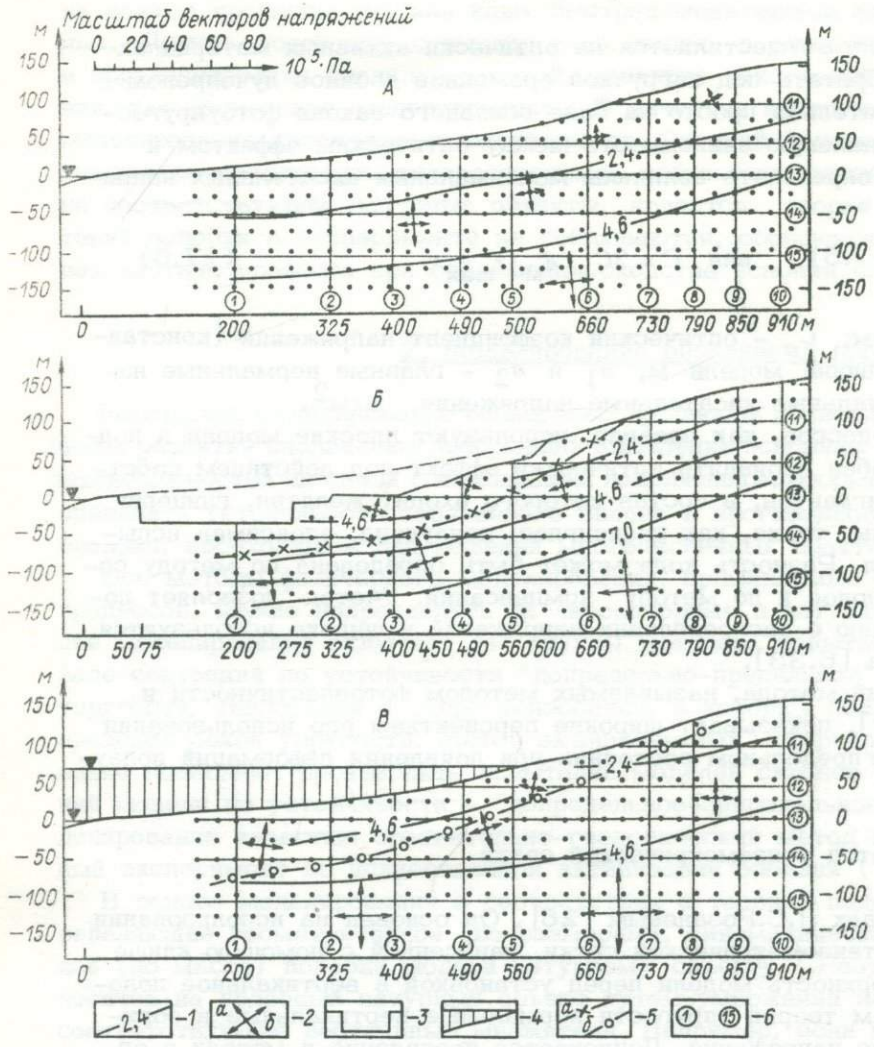


Рис.17.1. Распределение напряжений в склоне однородного строения природным (А), с врезкой котлована (Б) и с пригрузкой плотиной (В) (эксперименты на модели из фотоупругих материалов методом стереотензометрической сетки в Московском Государственном университете). 1 – изолинии максимальных касательных напряжений τ_{max} 10^5 Па; 2 – расчетные точки и векторы главных напряжений: максимальных (а) и минимальных (б); 3 – контур котлована; 4 – тело плотины; 5 – границы зон влияния от врезок (а) и от плотины (б); 6 – расчетные сечения

Стереотензометрический метод достаточно эффективен для выявления изменчивости напряженного состояния и устойчивости склона при перспективном хозяйственном его освоении (рис.17.1)[20].

Метод электрогидродинамических аналогий (ЭГДА)

Сходство между гравитационным и электрическим стационарными полями дает возможность использования электрических моделей для изучения напряженного состояния склонов в плоской задаче [9]. Моделирование напряженного состояния склонов может производиться с использованием сплошных моделей из электропроводной бумаги и электроинтегратора для решения уравнения Лапласа или сеточных – из проводящей системы сопротивлений сеточного интегратора. Модели строятся с учетом геометрического подобия и подбора проводимости материала модели в соответствии с подобием законов Ома и Гука. Линии равных напряжений тока модели соответствуют линиям равных сумм нормальных напряжений $\theta = \text{const}$, по которым рассчитываются остальные составляющие напряжений, а также строятся векторные линии гравитационных сил ($\text{grad}\,\theta = \text{const}$), по которым при сопоставлении с прочностью пород можно искать положение потенциальной линии скольжения (рис.17.2)[9].

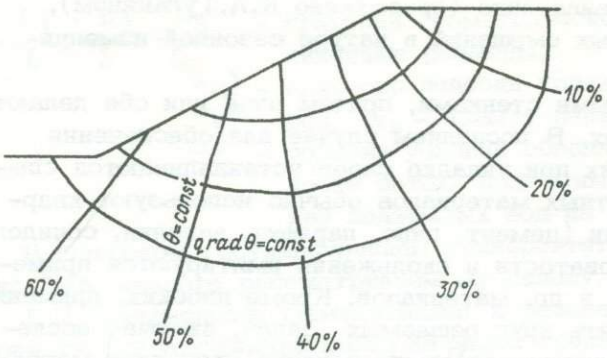


Рис.17.2. Сетка из силовых линий (grad θ = const) и линий сумм нормальных напряжений (θ = const) в пределах откоса однородного геологического строения крутизной 30°, построенная по методу ЭГДА (по И.П.Зелинскому).

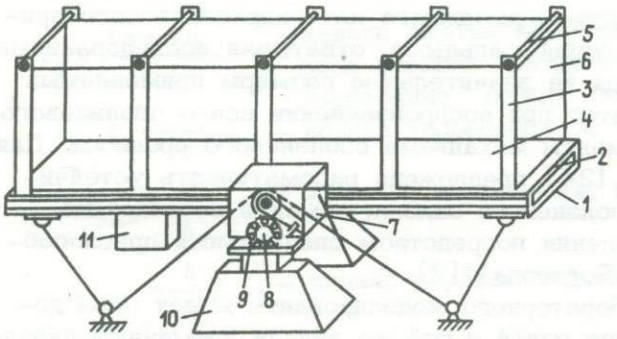


Рис.17.3. Плоский поворотный стенд ВСЕГИНГЕО: 1 – основание, 2 – плита, 3 – стойка, 4 – стенки, 5 – стягивающая шпилька, 6 – съемная стенка, 7 – лебедка, 8 – центральный вал, 9 – подшипник, 10 – опора, 11 – регистрирующее устройство

Метод центробежного моделирования

Основные положения метода разработаны в 1932 г. Г.И.Покровским [23]. Как указывалось выше, метод предусматривает использование материала натурного объекта и в связи с этим создание объемных сил, превосходящих силу земного притяжения в соответствии с геометрическим подобием. Современные центрифуги с радиусом подвески модели 2–3 м от оси вращения позволяют испытывать модели склонов высотой 0,4–0,6 м с масштабом моделирования от 1:20 до 1:500 [22]. В процессе испытаний производится посредством специальных датчиков и приспособлений измерение различных параметров модели, и, в частности, фото–киносъемка деформаций модели [37].

Метод требует применения специального оборудования – центрифуги размещаемой, как правило, в отдельном подвальном помещении. Небольшие размеры модели не позволяют отразить детальное строение слоистых массивов. В системе испытаний модели следует учитывать также влияние неоднородности поля центростремительного ускорения.

Метод эквивалентных материалов

Метод, предложенный в 1936 г. Г.Н.Кузнецовым [21], получил наиболее широкое распространение в исследовании оползневого процесса на моделях. Использование в модели материалов, эквивалентных по физико–механическим свойствам в соответствии с критериями подобия натурным, дает возможность наблюдать развитие оползневого процесса от исходного устойчивого состояния до завершения полного оползневого цикла. При этом большие размеры стендов (рис.17.3), достаточно хорошо проработанная технология подбора материало–эквивалентов, способность учета комплекса основных факторов, обусловливающих развитие оползневого процесса, и изменчивости их во времени, способствуют использование этого метода при исследовании склонов сложного геологического строения, а также для изучения механизма деформирования склона на различных этапах развития оползневого процесса [5,20], что в достаточной степени невозможно достигнуть другими методами моделирования. В частности, имеется успешный опыт управления в процессе испытания модели оползневого склона вязкостью зоны

смещения посредством нагрева материала-эквивалента (предложено К.А.Гулакяном), имитируя влияние на интенсивность оползневых смещений в натуре сезонной изменчивости влажности глинистых грунтов [5].

Применяются плоские стенды как с боковыми стенками, причем одна или обе делаются прозрачными (см.рис.17.3), так и без них. В последнем случае для обеспечения устойчивости слабых материалов модели в них при укладке слоев устанавливаются специальные тяжи [13]. Для подбора эквивалентных материалов обычно используют кварцевый песок в смеси с различными добавками (цемент, гипс, парафин, вазелин, солидол, петролатум и др.). Зоны ослабления, трещиноватости и скольжения имитируются применением слюды, талька, органического стекла и др. материалов. Кроме плоских, применяют и объемные стенды, позволяющие расширить круг решаемых задач, включая исследования пространственной изменчивости напряженно-деформированного состояния массивов. В последние годы плоские стенды стали оборудовать приспособлениями для создания пригрузки на поверхность модели посредством рычажного или гидравлического привода. Это позволяет сделать стенды более универсальными, охватывая исследованиями более глубокие горизонты массивов. Несмотря на значительные размеры применяемых испытательных стендов, зачастую не удается при воспроизведении всего оползневого склона детально рассмотреть отдельные элементы механизма оползневого процесса. Для преодоления этих трудностей Г.П.Постоевым [24] предложено рассматривать устойчивость и деформирование отдельных частей оползневого склона, заменяя воздействие соседних приложением соответствующего давления посредством специальных приспособлений (метод компенсирующей нагрузки А.А.Борисова) [2].

Каждый из рассмотренных методов лабораторного моделирования имеет свои достоинства и ограничения. Нередко для решения одной и той же задачи применяют параллельно несколько методов лабораторного моделирования [6,20]. Иногда наибольший эффект достигается совмещением методов моделирования, например, использование в методе фотоупругости высокомодульных оптически чувствительных материалов и испытание их в поле центробежных сил [6]. Имеются примеры решения некоторых фильтрационных задач на плоских моделях из эквивалентных материалов, когда последние для многослойной модели подбирались не только по механическим характеристикам, но и по диэлектрической проницаемости [35].

Следует отметить, что полное подобие модели натурному объекту – задача трудноразрешимая. Как бы тщательно не подбирались материалы модели, полного эквивалента реальным грунтам достичь не удается. Кроме того, в сложных условиях при построении модели производится генерализация инженерно-геологического разреза. В известной мере осуществляется приближенное моделирование с обеспечением подобия основного процесса в модели натурному объекту с учетом основных воздействующих факторов. Иногда не рассматривается масштаб времени.

Натурное моделирование

Качественная оценка состояния оползневого склона на основе его сопоставления с ранее изученным объектом, находящимся в исходных геологических условиях, часто использовалась инженерами-геологами. Большой вклад в разработку на количественной основе сравнительно-геологического метода оценки устойчивости склона или метода натурных аналогов внесли Е.П.Емельянова и Л.Б.Розовский [7,27]. Особенностями геологического подобия (приближенного) по Л.Б. Розовскому являются следующие [27, 28]: подобие между природным аналогом и объектом по обобщенным характеристикам при несхожести частностей; выражение критериев подобия как в виде качественных оценок, так и безразмерных отношений.

Для оценки устойчивости склонов Л.Б.Розовским предложены следующие критерии геологического подобия [28]:

$\frac{c}{\gamma h}; \frac{\gamma h}{}$ – критерий геодинамического подобия

ψ – угол сдвига
φ – угол внутреннего трения
μ – коэффициент Пуассона

} критерии подобия вещественного состава и прочностных свойств

$\frac{L_1}{L}; \frac{L_2}{L}; \frac{L_3}{L}$ – критерии геометрического подобия, где $L, L_1, L_2, L_3 \ldots L_n$ – линейные размеры;

$\left.\begin{matrix} a_м \\ a_а \end{matrix}\right\}$ – критерии подобия условий залегания, где $a_м$ – угол падения пород, $a_а$ – азимут падения пород;

$\frac{\Delta H}{l}$ – подобие условий обводненности подземными водами (уклон поверхности потока подземных вод), где ΔH – разность отметок уровней подземных вод на растоянии l по падению склона.

В Одесском государственном университете имеются программы для ЭВМ из "памяти" ЭВМ аналога рассматриваемому склону.

Е.П. Емельяновой применительно к районам развития рыхлого покрова на наклонной поверхности устойчивых пород из рассмотрения природы и механизма развития оползневых деформаций на склонах предложено учитывать ряд безразмерных индексов [8]

$I_с = \frac{b_1 - b_2}{l}$ – индекс сжатия для веерообразных оползней, где b_1 и b_2 – ширина оползня соответственно в верхнем и нижнем сечениях, l – расстояние между сечениями;

$I_у = \frac{h}{b}$ – индекс уплощенности, где h – предельная мощность оползня;

$I_{удл} = \frac{L}{b}$ – индекс удлиненности, где L – длина оползня;

$I_{гл.} = \frac{h}{L}$ – индекс глубины захвата;

$I_{вод.} = \frac{\Sigma a_m}{H}$ – индекс водонасыщенности, где a_m – мощность одного водоносного горизонта, находящегося выше подошвы склона, H – высота склона;

$I_в = \frac{L_в}{h}$ – индекс водосбора, где $L_в$ – расстояние от водораздела до точки склона с мощностью h.

Сравнительно-геологический метод позволяет определить условия, соответствующие предельному состоянию склона (предельная линия на графике зависимости между основными показателями устойчивости склонов; по Е.П.Емельяновой, – между заложением и высотой склона). Устойчивость рассматриваемого склона устанавливается по положению соответствующей ему точки относительно предельной линии.

Натурный эксперимент по искусственной активизации оползня

Сущность метода искусственной активизации оползня заключается в том, что на типичном, для исследуемой территории, оползне в конкретных природных условиях провоцируется активизация оползневых смещений с тем, чтобы посредством комплексных стационарных наблюдений за основными параметрами оползня и специальных исследований в течение короткого периода выявить особенности механизма оползня, закономерности развития оползневых деформаций и изменения напряженного состояния, оценить степень влияния различных факторов на интенсивность оползневых деформаций.

Выбор оползневого участка для проведения натурного эксперимента производится на основе анализа множества оползней рассматриваемого типа, распространенных на исследуемой территории, по некоторым из указанных выше индексов. Участок выбирается по тем же критериям, как и опорный [4] (см. раздел 7.3), но, кроме того, он должен быть удобен для производства всех видов работ и не должен угрожать каким-либо существующим сооружениям. Полученные закономерности могут быть распространены на оползни данного типа с поправками на изменение тех или иных условий. К достоинству метода искусственной активизации оползня следует отнести возможность оперативной оценки эффективности применяемых методов исследований, необходимой для совершенствования методики и технических средств стационарных наблюдений на оползневых участках.

В 1976 г. институтом ВСЕГИНГЕО (СССР), совместно с производственными организациями, проведен в Крыму натурный эксперимент по искусственной активизации

5386

оползня "Жуковка" близ г.Керчи, типичного для условий Керченского п-ва оползня выдавливания (сдвига) в неогеновых глинах [39]. Активизация оползня производилась посредством проходки выемки в нижней части склона.

Еще более информативный натурный эксперимент проведен в 1981 г. на участке "Ставлухар", Крым (СССР) с развитием оползня скольжения во флишевых породах юры, типичного для Южного берега Крыма, и, особенно,- для восточной его части, перспективной в отношении курортно-санаторного строительства. Искусственная активизация оползня осуществлялась в течение месяца, в период которого произведены: подрезка нижней части склона (выемка 15 тыс.$м^3$ грунта), сотрясение в верхней части склона (три взрыва, в начале месячного периода, в середине и в конце, по 1000-2500 кг взрывчатых веществ и замачивание оползневых пород через трещины (400 $м^3$ воды). Опыт показал эффективность натурного эксперимента по искусственной активизации оползня для решения задач по выявлению особенностей механизма типичных оползней, разработке и совершенствованию методов их прогноза и борьбы с ними.

3. Моделирование селевых процессов

Проблема моделирования селевых процессов в связи с чрезвычайной их сложностью, многофакторностью и разнообразием условий формирования в настоящее время далека от полного решения, несмотря на многочисленные исследования в этой области, накопленный опыт решения некоторых задач, связанных с выявлением механизма зарождения селей, определением параметров динамики селевых потоков, изучением их взаимодействия с различными сооружениями и руслом. Существующие методы моделирования селей можно разделить на две основные группы: натурное моделирование и лабораторные экспериментальные исследования.

Натурное моделирование предусматривает проведение различных экспериментов в природных условиях – в очагах зарождения селей, селестоковых руслах, водосборных бассейнах. Такие эксперименты направлены на решение следующих задач: 1) изучение условий формирования жидкой (водной) составляющей селевых потоков; 2) изучение условий формирования, накопления и перемещения твердой составляющей селей; 3) изучение механизма зарождения селей, их типа, состава, динамических характеристик – скорости, расхода и т.д.

В результате изучения условий формирования жидкой составляющей определяются: критические значения селеформирующих осадков и стока, зависимости параметров поверхностного стока от режима выпадения осадков и снеготаяния, глубина и степень увлажнения склоновых отложений в зависимости от условий обводнения склонов. Водная составляющая селевых потоков формируется за счет атмосферных осадков (дождей и ливней), таяния снега и ледников, прорыва завальных озер и водохранилищ. Основную роль в формировании селей играют дожди и ливни.

При изучении процессов формирования дождевого и ливневого стока существует в основном два подхода [1]:

1. Активный эксперимент – измерение стока и его элементов при искусственной водоподаче. Подобные эксперименты можно классифицировать: а) по характеру водоподачи – дождевание, напуск (заливание площадок), залив шурфов или инфильтрационных микроплощадок; б) по характеру экспериментальных объектов (моделей) – полевые (натурные) или лабораторные. Обычно используются малые однородные водосборы, стоковые площадки и др.

2. Режимные наблюдения, обычно длительные, за процессами формирования стока в естественных условиях, а также на стоковых площадках.

Наиболее эффективным и широко используемым методом для изучения условий формирования жидкой составляющей является искусственное дождевание на природных склонах, при котором для разных конкретных случаев (по литологии пород, типу почв, характеру растительности, уклонам) определяются: зависимости между интенсивностью и продолжительностью осадков, с одной стороны, и значениями поверхностного и приповерхностного грунтового (внутрипочвенного) стока, – с другой, коэффициенты фильтрации почв и склоновых отложений послойно, глубина и степень увлажнения склоновых отложений при разных режимах выпадения осадков (дождевания). Для опытов используются различ-

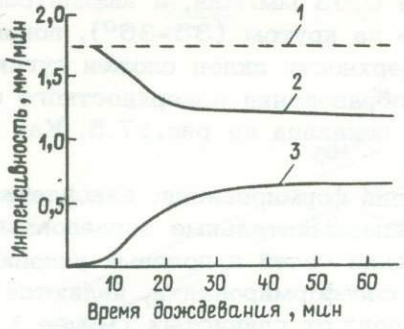


Рис.17.4. Зависимость инфильтрации и поверхностного стока от продолжительности дождевания (по А.И.Шеко). Интенсивность: 1 – дождя, 2 – инфильтрации, 3 – поверхностного стока

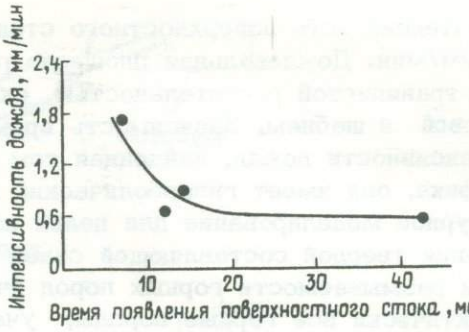


Рис.17.5. Зависимость времени начала образования поверхностного стока от интенсивности дождя (по А.И.Шеко)

ные по типам и конструкции дождевальные установки, описанные в Международном руководстве по исследованию и практике [25].

Для работы в горных условиях "Методическое руководство по изучению селевых потоков" [29] рекомендует использовать малые модели дождевальных установок с площадью орошения 0,5 × 0,5 или 1,0 ×1,0 м. Методика исследований заключается в следующем. Слегка увлажненная дождевальная площадка с трех сторон ограждается металлическими пластинами, врезаемыми в почву на глубину 10–15 см и возвышающимися над поверхностью земли на 5–10 см. С нижней стороны площадки устанавливается металлический водосборный лоток, снабженный зубом высотой 15 см. Лоток заделывается заподлицо с поверхностью почвы. Дождевальная рама помещается на высоте около 50 см от поверхности площадки. Питающее устройство установки должно обеспечивать постоянную интенсивность дождевания в течение опыта. Стекающая с площадки вода по приемному лотку поступает в мерный сосуд. Учет стока производится объемным способом. В результате опытов определяется интенсивность инфильтрации, равная разности между интенсивностью дождевания и интенсивностью стока (все величины в мм/мин), в связи с чем интенсивность дождевания рекомендуется подбирать из расчета, чтобы она была больше интенсивности фильтрации. После окончания дождевания площадки покрывают полиэтиленовой пленкой для предохранения от высыхания и через 30 минут берутся пробы на влажность до глубины 20 см.

Методика искусственного дождевания склонов, предложенная А.И.Шеко [36], помимо определения коэффициента фильтрации поверхностного слоя, позволяет определить условия формирования поверхностного и внутрипочвенного стока, для чего ниже дождевальной площадки на расстоянии 10–15 см поперек склона выкапывается канава глубиной 0,5–0,7 м, в которую врезаются два лотка для сбора и отвода поверхностного и внутрипочвенного стока на глубине 5 см и на границе горизонтов почвы А и В соответственно. Дождевание осуществляется ступенчато, от меньших значений интенсивности к большим с фиксированием тех величин, при которых появляются различные виды стоков и разной интенсивности. Перед опытом на участке, непосредственно прилегающем к площади дождевания, а после опыта – на площадке дождевания, отбираются пробы на влажность. Проводится также послойное, включая дерновый покров, определение коэффициента фильтрации по методу Болдырева-Нестерова. В лабораторных условиях определяются: гранулометрический состав пород (почв), объемная масса, влажность, плотность, пластичность, полная влагоемкость, коэффициент фильтрации. В качестве примера полезно привести некоторые результаты, полученные при изучении закономерностей формирования водной составляющей селей методом искусственного дождевания, имеющие не только частный, но и общий характер.

На рис.17.4 показана полученная А.И.Шеко зависимость инфильтрации и поверхностного стока от продолжительности дождевания. Из графика видно, что в данном случае постоянный поверхностный сток возникает через 25 минут после начала дождевания. При

этом интенсивность поверхностного стока составляла 0,63 мм/мин, а инфильтрация 1,10 мм/мин. Дождевальная площадка располагалась на крутом (35-36°), покрытом редкой травянистой растительностью, склоне. На поверхности склон сложен суглинками с дресвой и щебнем. Зависимость времени начала образования поверхностного стока от интенсивности дождя, найденная тем же автором, показана на рис.17.5. Как видно из графика, она имеет гиперболический характер.

Натурное моделирование для целей изучения условий формирования, накопления и перемещения твердой составляющей селей включает экспериментальные исследования прочности и размываемости горных пород очагов зарождения селей в полевых условиях.

Практически все горные породы, участвующие в селеформировании, являются обломочными, составленными из частиц различных размеров: от глинистых (менее 1 микрона) до глыб и валунов размером до нескольких десятков сантиметров и более. Это определяет специфику методики определения их свойств, прежде всего, размер образцов для проведения опытов.

Важнейшими прочностными параметрами селеформирующих пород, необходимыми для оценки селеактивности, являются угол внутреннего трения φ и сцепления С. Определение их производится методом одноплоскостного среза на крупногабаритных сдвиговых установках с площадью обоймы не менее 1000 $см^2$, как с породами нарушенного сложения, но с объемной массой соответствующей естественной, так и в условиях естественного залегания, на целиках, врезанных в обойму, или в шурфах. Опыты проводятся при разной влажности * пород, от воздушно-сухих до полностью водонасыщенных, находящихся в вязкотекучем состоянии. На основании экспериментальных исследований установлено, что влажность крупнообломочных пород оказывает заметное влияние на их прочностные свойства при содержании в них глинистых и пылеватых частиц $<0,05$ мм в количестве не менее 10-15% [14]. Чем их больше, тем сильнее влияние влажности. Произведенные с различными по составу и генезису крупнообломочными отложениями опыты показали, что при изменении влажности заполнителя от 2-4% до 20-26% (вязко-текучее состояние) угол внутреннего трения уменьшается в 7-10 раз от максимального значения 40-43° до минимального 4-6° [14].

Для изучения размываемости крупнообломочных пород возможно использование методики, разработанной В.С.Круподеровым [15,16], в соответствии с которой определяются следующие характеристики: 1) критические размывающие скорости - начальная, при которой начинается размыв данной породы, и граничная, при которой не проис-

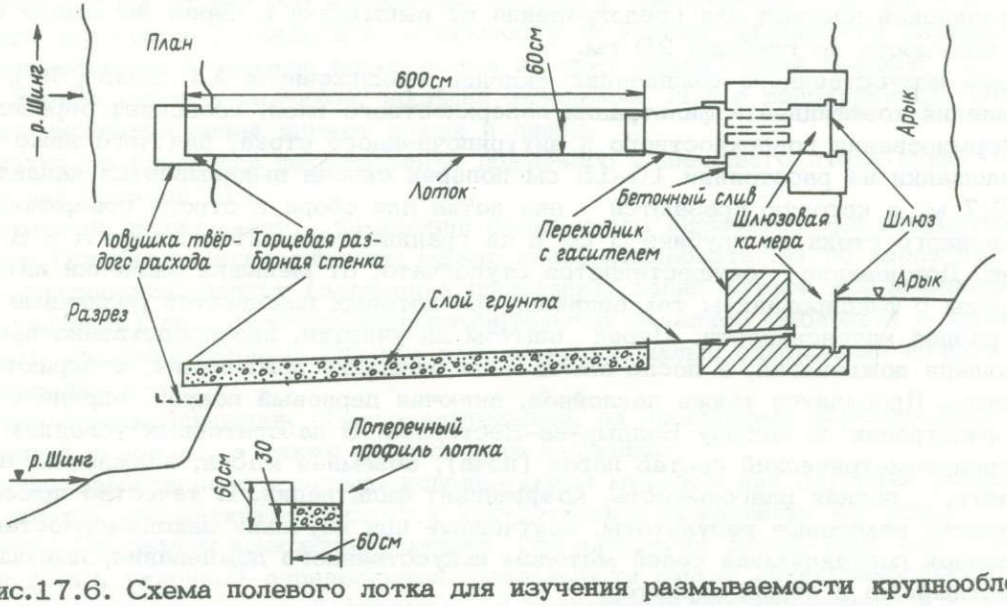


Рис.17.6. Схема полевого лотка для изучения размываемости крупнообломочных пород

*Под влажностью крупнообломочных пород понимается влажность их заполнителя, фракции менее 2 мм.

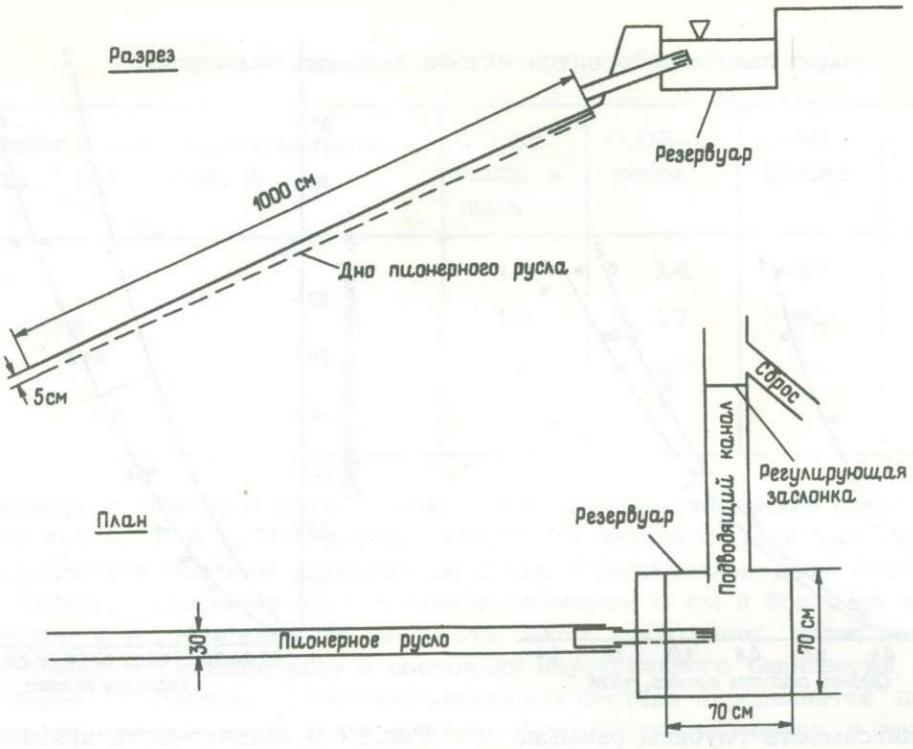


Рис.17.7. Схема установки для изучения размываемости пород на природном склоне

ходит образование отмостки и начинается непрекращающийся катастрофический размыв, трансформирующийся в селевой процесс; 2) глубина размыва до образования отмостки при разных скоростях размывающего потока, необходимая для оценки мощности слоя размыва (смыва), при заданных параметрах поверхностного стока; 3) время формирования отмостки и интенсивность размыва; 4) полная энергия потока, необходимая для размыва единицы объема породы.

Опыты по изучению размываемости крупнообломочных пород проводятся в полевых условиях в специальных лотках (рис.17.6), а также на природных склонах (рис.17.7). Размеры лотков определяются крупностью обломочного материала изучаемых пород. Ширина лотка должна быть в 5-6 раз больше среднего диаметра наиболее крупных обломков, что исключает их заклинивание и не препятствует перемещению их потоком. Длина лотка делается в 10-12 раз больше его ширины. Исследуемые породы укладываются в лоток сплошным слоем высотой в 2-3 раза большей диаметра наиболее крупных обломков. Опыты в лотке проводятся с породами нарушенного сложения. Как показали выполненные исследования, существенного различия между образцами пород в лотке (засыпкой) и в естественном залегании не наблюдается, если учитывать следующее распределение обломочного материала в лотке должно быть таким же, как и в естественных условиях; при медленном увлажнении воздушно-сухих (3-5%) крупнообломочных пород нарушенного сложения с последующим их подсушиванием (до любой влажности) происходит восстановление структурных (водно-коллоидных) связей глинистого заполнителя, и породы становятся связными (эта операция производится прямо в лотке).

Влажность и объемная масса пород должны соответствовать естественным. Уплотнение засыпки пород до необходимого значения объемной массы производится послойно, по мере засыпки лотка. Объемная масса определяется как частное от деления веса засыпки на ее объем с учетом влажности.

Для крупнообломочных пород с содержанием глинистых и пылеватых частиц более 10-15% изучение размываемости производится при разных влажностях заполнителя. При меньшем их количестве, как это уже отмечалось, влажность незначительно влияет на размываемость. Скорости потока при опытах в лотках должны соответствовать естественным, наблюдающимся при размыве исследуемых пород в природных условиях. Изменение скоростей при проведении опытов осуществляется ступенчато, от меньших к большим. Переход к следующей ступени производится после того, как при данном режи-

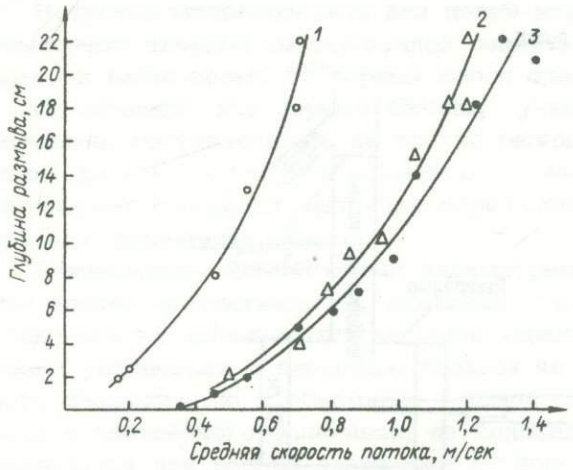


Рис.17.8. Зависимость глубины размыва крупнообломочных пород до образования отмостки от средней скорости потока: 1 – осыпные, 2 – пролювиальные, 3 – оползневые

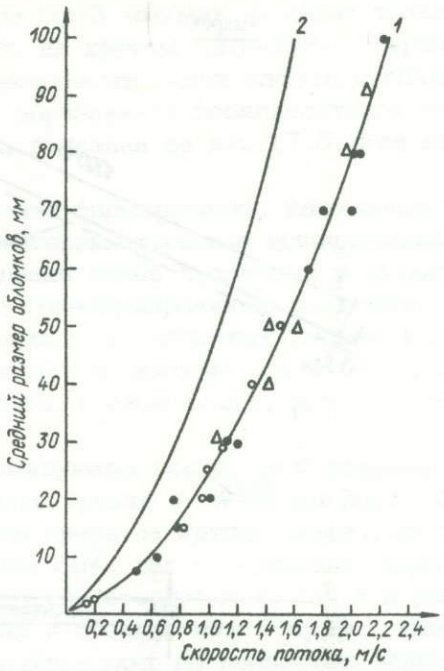


Рис.17.9. Зависимость среднего размера обломков, находящихся в состоянии неустойчивого равновесия, от поверхностной (1) и средней (2) скоростей потока для крупнообломочных пород

ме произошло прекращение размыва в результате образования отмостки. Скорость потока регулируется расходом или уклоном лотка. Во время опыта фиксируются скорость потока, расход воды, глубина и ширина потока, глубина размыва и объем размыва, размер перемещающихся при данной скорости обломков, продолжительность опыта. Возможно проведение опытов с породами ненарушенного сложения, в этом случае лоток врезается в склоновые отложения, но это очень трудоемкий и сложный процесс, кроме того, сужаются возможности экспериментирования, например, трудно задать необходимое значение влажности. Опыты на природном склоне (рис.17.7) проводятся в случае значительного содержания в породах крупных обломков, а также для контроля данных, полученных при опытах в лотках. Параллельно экспериментам производится определение гранулометрического состава изучаемых пород, объемной массы, влажности, размокаемости (времени размокания образцов определенного размера), минерального состава заполнителя.

Преимущество и эффективность полевого моделирования в лотках очевидна. Получение репрезентативных показателей при изучении размываемости неоднородных по гранулометрическому составу крупнообломочных пород требует для экспериментов значительных по объему образцов, примерно 2 $м^3$ на один опыт, что естественно, практически невозможно в лабораторных условиях. Некоторые полученные при экспериментальных исследованиях результаты представлены в виде рисунков. На рис.17.8 показана зависимость глубины размыва крупнообломочных отложений различного генезиса до образования отмостки от средней скорости потока. Характеристика их гранулометрического состава проводится в табл.17.1

На рис.17.9 отображена зависимость среднего размера обломков, находящихся в состоянии неустойчивого равновесия, от поверхностной и средней скоростей потока. Под обломками, находящимися в состоянии неустойчивого равновесия, понимаются максимальные по размеру обломки, перемещаемые при данной скорости. Средний размер обломков, находящихся в состоянии неустойчивого равновесия, является верхней границей крупности перемещаемого при данной скорости обломочного материала. Как показали исследования, полученная зависимость может использоваться для различных крупнообломочных пород, и позволяет оценить глубину размыва до образования отмостки при любом заданном значении скорости потока при известном гранулометрическом составе

Таблица 17.1

Гранулометрический состав крупнообломочных пород

Породы \ Фракции в мм, гранулометрический состав, %	< 0,05 глина и пыль	0,05-2 песок	2-40 дресва	40-100 щебень
Оползневые	18	14	47	21
Пролювиальные	10	17	62	11
Осыпные	32	20	46	2 (максимальный размер 50-60 мм)

пород. Например, необходимо знать глубину размыва до образования отмостки при средней скорости потока 1 м/с. По графику (рис.17.9) находится, что при этом значении скорости переносятся обломки размером до 5 см. Следовательно, для образования отмостки необходимо накопление слоя обломков размером 5 см и более на поверхности размываемого грунта. Минимальная мощность такого слоя равна, естественно, среднему размеру обломков, находящихся в состоянии неустойчивого равновесия, т.е. 5 см в данном случае. По графику гранулометрического состава определяется процентное содержание обломков размером 5 см и более. Затем подсчитывается, в каком по мощности слое пород содержится необходимый для отмостки обломочный материал. Мощность этого слоя и является глубиной размыва до образования отмостки. Практически глубина размыва будет несколько меньше расчетного значения, поскольку, как показали экспериментальные исследования, для формирования отмостки необязателен сплошной слой крупных (неперемещающихся при данной скорости) обломков.

Представляет интерес полученная зависимость объема размыва пород от полной энергии потока, приведенная на рис.3.3. Количество энергии, необходимой для размыва единицы объема пород, является универсальной характеристикой размываемости, интегрально отражающей влияние всех факторов на размываемость крупнообломочных пород.

В методике натурного моделирования для изучения механизма зарождения и динамики селей можно выделить два направления по масштабам используемых моделей. В первом случае создаются искусственные сели в естественных селевых бассейнах небольших размеров (микросели) путем создания запруд в руслах с последующими попусками, размывающими русло и формирующими натурные сели. Такие попуски можно делать и на склонах, в руслах временных водотоков, очагах зарождения селей. При организации и подготовке эксперимента необходимо предусмотреть устройство ловушки или запруды для остановки и удержания сформировавшегося селя для определения его параметров. При моделировании микроселей измеряются следующие величины: объем и расход попуска, объем сформировавшегося селя, скорость и расход селевого потока, гранулометрический состав селевой массы, плотность и влажность ее.

При проведении подобных экспериментов установлено, например, что при разовых попусках объемом от 30 до 50 л по эрозионным бороздам на склонах крутизной 24-26°, сложенных крупнообломочными отложениями с суглинистым заполнителем, влажность которого соответствует влажности нижнего предела пластичности, формирование связанного грязекаменного микроселя происходит в течение нескольких секунд, на расстоянии 10-15 м [17]. При создании искусственных селей производится также изучение состава и свойств пород, участвующих в селеформировании.

Первые искусственные сели в СССР были организованы в одном из притоков р.Большой Алма-Атинки Г.К.Синявским и И.П.Смирновым в 1947-1948 гг. [30]. Обоснование их применения как эффективного метода экспериментального изучения механизма зарождения и динамики селевого процесса выполнено Д.Л.Соколовским [31]. Определение скорости движения искусственных селей дает возможность сопоставить измеренные фактические значения скоростей с расчетными по разным формулам. Такое сравнение,

произведенное С.М.Флейшманом, на основании измерений искусственных селей, выполненных сотрудниками лабораторий снежных лавин и селей Московского государственного университета, показало, что значения параметров селей, полученные по формулам расчетным путем, могут значительно отличаться от истинных [34]. Охарактеризованные эксперименты с небольшими искусственными селями до недавнего времени были единственным способом натурного моделирования селевого процесса.

В 1972 г. в СССР впервые был организован искусственный селевой поток, по масштабам близкий к естественным селям. Этот уникальный эксперимент был проведен под руководством Ю.Б.Виноградова в нескольких десятках километров от г.Алма-Аты в русле селевого бассейна р.Чемолган. Цель эксперимента заключалась в опробовании новой автоматической аппаратуры для измерения таких характеристик селевого потока, как скорость, плотность, ударное воздействие, изучение динамики селевого потока, а также для совершенствования методики его расчета. Выбранное для эксперимента русло р.Чемолган в верхней части представляет собой огромный селевой врез в древние моренные крупнообломочные отложения, длиной 930 м, средней шириной по верху 95 м и глубиной 45 м, являющийся типичным очагом зарождения селей. Выше очага, в самых верховьях, было создано искусственное водохранилище объемом 42 000 $м^3$, заполненное за счет таяния ледников, и оборудованное специальным затвором, обеспечивающим одновременный попуск воды. Объем, продолжительность и максимальный расход попуска воды составили соответственно 12 $м^3$, 18,5 мин и 16 $м^3/с$ [3]. Водный поток из водохранилища в первые же секунды своего движения по руслу трансформировался в селевой. В 1-2 км ниже затвора водохранилища поток обладал уже всеми характеристиками естественного селя значительной мощности – глубина его превышала 2,0-2,5 м, скорость составляла 4-5 м/с. Образовавшийся селевой поток был грязекаменным по составу, транспортировал валуны и глыбы до 3 м в поперечнике. В очаге и нижележащем русле в селевой процесс было вовлечено 32 000 $м^3$ крупнообломочных отложений, объем селя составил около 42 000 $м^3$ (с учетом 4 000 $м^3$ воды, содержавшейся в породах), средняя плотность селевой массы – 2 070 $кг/м^3$, максимальный расход селевого потока – 110-120 $м^3/с$. Через год эксперимент был повторен. Объем питающего водохранилища в это время составлял около 39 000 $м^3$. Были сделаны четыре попуска с трехминутными перерывами, в селевой процесс было вовлечено 102 тыс.$м^3$ рыхлообломочных отложений селевого вреза верховья р.Чемолган. Интересно отметить, что максимальная измеренная плотность селевой массы составила 2300 $кг/м^3$. В табл.17.2 приведена характеристика каждого из попусков и образованных ими селевых потоков.

Таблица 17.2

Характеристика попусков и сформированных ими селевых потоков
(по Ю.Б.Виноградову)

Попуски			Селевые потоки		
продолжительность, мин	объем, тыс.$м^3$	максимальный расход, $м^3/с$	максимальный расход, $м^3/с$	объем, тыс.$м^3$	средняя плотность, $кг/м^3$
2	2	16	100		
10	8	15	90	63	2120
9	6	12	70		
222	25	2	18	73	1970
-	41	-	-	136	2040

Принципы, методика и условия лабораторного моделирования селей охарактеризованы в монографии С.М.Флейшмана [34]. Для лабораторного моделирования используется специальное оборудование, селевые и гидравлические лотки. Задачи, решаемые при лабораторном моделировании, С.М.Флейшман делит на две группы: качественные и количественные.

К первой группе относятся: выявление условий сопротивления движению селевого потока и режима его течения, изучение качественного отличия режимов течения потоков

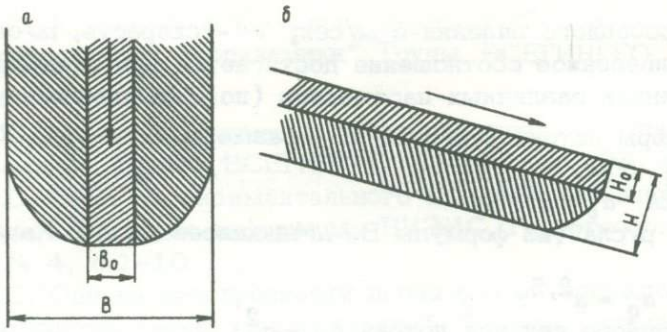


Рис.17.10. Ядро связного потока (по С.М.Флейшману) – а – вид сверху (ширина B); б – поперечное сечение (глубина H)

различных структурно-геологических типов, исследование поведения селевого потока при изменении русловых условий и взаимодействии с препятствиями, исследование эффективности различных противоселевых сооружений. Необходимым условием экспериментирования при решении этих задач является соблюдение условия подобия среды экспериментального потока моделируемому, естественному, т.е. физико-механические характеристики модельного потока должны быть аналогичны таковым естественного селевого потока, с обязательным соблюдением граничных условий моделирования, обусловленных размерами экспериментальной установки и самого модельного потока. Например, при изучении влияния вязкости селевой массы на режим движения и сопротивления движению связного грязевого селя, вязкость модельного потока должна соответствовать вязкости естественного селя и обеспечивать связность моделируемой селевой массы, составленной из тех же компонентов, что и естественная, однако предельное значение вязкости не должно превышать значения, обеспечивающего текучесть потока и наличие зоны потока $H_0 \times B_0$, свободной от градиентного влияния дна и стенок лотка (рис.17.10).

Такой же принцип применяется при определении максимальной величины включений в модельном потоке. Для всех структурно-реологических типов селевых потоков граничным условием моделирования является подобие наибольших размеров обломочного материала в модельном потоке таковым естественного селевого потока. По данным С.М.Флейшмана, в природных условиях максимальный размер включений $d_{макс}$ редко превышает 0,1–0,2 ширины потока и русла (B), в большинстве случаев составляет не более 0,02–0,05 от B . По отношению к глубине потока (H) наибольший размер включений составляет 0,2–0,5 от Н.

Таким образом, при качественном моделировании селей граничные условия, определяющие размер твердых включений, следующие:

$$\frac{d_{max}^{мод}}{B_{мод}} \leqslant \frac{d_{max}^{естест.}}{B_{естест}}, \qquad \frac{d_{max}^{мод}}{H_{мод}} \leqslant \frac{d_{max}^{естеств.}}{H_{естеств}}$$

Количественное моделирование селевых потоков позволяет решать следующие задачи: изучение распределения скоростей по глубине, определение коэффициента гидравлического трения, исследование динамики взаимодействия селевого потока с различными препятствиями и другие параметры, охарактеризованные в предыдущей главе.

В настоящее время общая теория, описывающая движение селевых потоков различных типов, пока не разработана, в связи с чем отсутствуют и критерии подобия для количественного моделирования, учитывающие все факторы, определяющие сопротивление движению селевых потоков. Поэтому количественное моделирование селевых потоков осуществляется на основе общих критериев подобия, применяемых в гидравлике, с некоторыми уточнениями.

Геометрическое подобие естественного и модельного потоков обеспечивается при равенстве для них чисел Фруда:

$$Fr_м = Fr_н \quad \text{или} \quad \frac{v_м^2}{L_м g} = \frac{v_н^2}{L_н g}, \qquad (17.7)$$

где g – ускорение свободного падения в м/сек; v – скорость, м/сек; L – линейный размер, в метрах. Приведенное соотношение достигается при следующих значениях масштабных коэффициентов различных параметров (по С.М.Флейшману):

1) линейные размеры потока (глубина H, размеры включений d) $a_L = a$;
2) уклон русла $a_i = 1$;
3) скорость потока $a_v = a^{0,5}$;
4) шероховатость русла (из формулы В.М.Маккавеева и А.В.Карашуева (11)) $a_n = a^{0,17}$;
5) расход потока $a_Q = a^{2,5}$;
6) площадь поперечного сечения потока $a_w = a^2$;
7) насыщенность потока наносами $a_K = 1$;
8) коэффициент неоднородности наносов $L_H = 1$;
9) вязкость дисперсионной среды потока $a_\eta = 1$.

Как показывает опыт, существенной сложностью при количественном моделировании является подбор гранулометрического состава модельного потока. Если, например, селевая масса естественного потока представлена песчаными (0,05–2 мм) и пылеватыми (0,001–0,05 мм) частицами, но при масштабе моделирования 1:100, исходя из геометрического подобия линейных размеров потока, необходимо заменять песчаные частицы пылеватыми, а пылеватые – глинистыми, что качественно изменит свойства селевой массы, которая при таком гранулометрическом составе будет уже обладать связностью, за счет высокой гидрофильности глинистой и пылеватой фракций. Вопрос об эквивалентных материалах для моделей селевых потоков остается открытым, более успешно этот вопрос решен для оползней. Возможными путями решения этой задачи является использование глинистых и пылеватых частиц различного минерального состава, оказывающего существенное влияние на их водно-физические свойства.

Литература

1. Бефани Н.Ф. Прогнозирование дождевых паводков на основе территориально общих зависимостей. Л.: Гидрометеоиздат, 1977, 182 с.
2. Борисов А.А., Нифонтов Б.И., Шабалин А.М. Моделирование взаимодействия массивов пород с крепью вертикальных выработок. – Л.: Наука, 1972. 92 с.
3. Виноградов Ю.Б. Искусственное воспроизведение селевых потоков на экспериментальном полигоне в бассейне р.Чемолган. "Селев.потоки". М.: Гидрометеоиздат, 1976, со. 1, с.3-6.
4. Гулакян К.А., Кюнтцель В.В., Постоев Г.П. О принципах выбора опорных стационаров для целей прогноза оползневых процессов. М.: Труды ВСЕГИНГЕО, 1974, вып.76, с.28-34
5. Гулакян К.А., Кюнтцель В.В., Постоев Г.П. Прогнозирование оползневых процессов. М.: Недра, 1977, 135 с.
6. Демин А.М., Шушкина О.И. Напряженное состояние и устойчивость отвалов в карьерах. – М.: Недра, 1978, 159 с.
7. Емельянова Е.П., Розовский Л.Б. Прогноз устойчивости склонов и откосов с использованием природных аналогов и электронных вычислительных машин (ЭВМ). "XXIII сессия Международ. геол. конгресса". Докл. сов. геологов. М., 1968, с.131-138.
8. Емельянова Е.П. Сравнительный метод оценки устойчивости склонов и прогноза оползней. М.: Недра, 1971, 104 с.
9. Зелинский И.П. Некоторые вопросы теории геодинамического поля в связи с решением инженерно-геологических задач. "Теор. и метод. проблемы повышения качества и эффективности инж.-геол. иссл-ний." Тезисы докладов Всесоюзн. конф-ции. Тема III. Ростов-на-Дону: Рост. инж.-строит. ин-т, 1980, с. 44-49
10. Золотарев Г.С., Каменнова Ю.А., Максимов С.Н. Изучение напряженного состояния массивов пород в инженерно-геологических целях. М.: Изд-во МГУ 1968, 136 с.
11. Инструкция по определению расчетных характеристик дождевых селей ВСН 03-76. Ред. А.И.Чеботарев, И.И.Херхеулидзе, Б.И.Серпик. Л.: Гидрометеоиздат, 1976, 27 с.
12. Кирпичев М.В. Теория подобия. М.: Изд-во АН СССР, 1953
13. Козлов Ю.С. Исследование характера деформируемости, формы расположения поверхностей скольжения в откосах, имеющих в основании слабые слои различной мощности. "Изв. вузов". Горный журнал, 1971, № 3, с.57-60

14. Круподеров В.С. К вопросу о прочности крупнообломочных пород и факторах, ее определяющих. "Вопросы инж. геодинамики" Труды ВСЕГИНГЕО, 1975, вып.105, с.33-37

15. Круподеров В.С. Методика изучения размываемости крупнообломочных пород. "Вопросы инж. геодинамики" Труды ВСЕГИНГЕО, 1975, вып.105, с.57-64

16. Круподеров В.С. Опыт экспериментального изучения размыва и размываемости крупнообломочных пород. Экспресс-информация ВИЭМС. Гидрогеология и инженерная геология, М. 1976, № 4, с.1-10

17. Круподеров В.С. Оценка водопрочности пород очагов зарождения селей. "XV Всесоюзн. конф-ция по противоселев. мероприятиям". Тезисы докладов, Ташкент, 1978, с.158-162

18. Махорин А.А. Фаминицын Б.М. Применение стереотензометрического метода моделирования. "Вопросы формирования и устойчивости склонов." М.: Изд-во МГУ, 1970, с.150-159

19. Метод фотоупругости. Под ред. Г.Л.Хесина. М.: Стройиздат, 1975

20. Методика инженерно-геологических исследований высоких обвальных и оползневых склонов. Ред. Г.С.Золотарев и М.Янич. М.: Изд-во МГУ, 1980, 184 с.

21. Моделирование проявлений горного давления. Л.: Недра, 1968, 277 с.

22. Насонов И.Д. Моделирование горных процессов. М.: Недра, 1978. Изд. 2, 256 с.

23. Покровский Г.И., Федоров И.С. Центробежное моделирование в горном деле. М.: Недра, 1969, 263 с.

24. Постоев Г.П., Круглова Л.В., Круглов А.В. Изучение на моделях валов сжатия блоковых оползней. "Оценка инж.-геол. условий и расчет устойчивости склонов и откосов при проектировании земл. полотна в сильнопересеч. местности". М.: Союздорнии, 1980, с. 114-120.

25. Репрезентативные и экспериментальные бассейны. Международное руководство по исследованиям и практике. Ред. К.Тоубс и В.Урываев. Л.: Гидрометеоиздат, 1971

26. Розанов Н.С. Метод тензосетки и его приложение к исследованию напряженного состояния гидросооружений. М.- Л.: Госэнергоиздат, 1958, 56 с.

27. Розовский Л.Б. Введение в теорию геологического подобия и натурного моделирования. М.: Недра, 1969, 128 с.

28. Розовский Л.Б. Моделирование в инженерной геологии. Докл. сов. ученых к Междунар. конгрессу Междунар. Ассоциации инженеров-геологов. М.: ВИНИТИ, 1970, с.297-305

29. Руководство по изучению селевых потоков. Л.: Гидрометеоиздат, 1976, 144 с.

30. Смирнов И.П. Экспериментальные исследования основных элементов селевых паводков в натурных условиях. Труды КазНИГМИ, Алма-Ата, 1967, вып.9, с.17-31

31. Соколовский Д.Л. Селевые паводки, их гидрологические особенности и методика расчета. "Метеорология и гидрология, 1947, № 5, с.65-75

32. Трумбачев В.Ф., Славин О.К. Методика моделирования массива горных пород методами фотомеханики. Часть II . Моделирование нелинейных задач механики сплошной среды. М.: Изд-во ин-та горного дела, 1975, 68 с.

33. Федоров И.В. Методы расчета устойчивости склонов и откосов. М.: Стройиздат, 1962, 203 с.

34. Флейшман С.М. Сели. - Л.: Гидрометеоиздат, 1978, 312 с.

35. Хохлов И.В. Сдвижение и проницаемость подработанной толщи горных пород. М.: Недра, 1980, 176 с.

36. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей. М.: Недра, 1980, 296 с.

37. Goldstein M.N., Turovskaya A.I. Development of Landslide slope profile. Bul. of the Int. Assoc.of Eng. Geol. Krefeld, 1977, №16, p. 212-214

38. Kostak B. Photoplastic slope deformation models. Bul. of the Int. Assoc. of Eng. Geol.Krefeld, №16, 1977, p. 221-223

39. Postoev G.P., Erysh I.F., Varlamov N.M. Experience with artificial activation of block-type landslides. Bul. of the Int. Assoc. of Eng. Geol. Krefeld, №16, 1977, p.112-114

Глава 18

ЗАЩИТА ОТ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ

Методологические основы комплексных схем защиты территории от оползней и селей

1. Общие положения

Экзогенные геологические процессы, особенно оползни и сели, наносят огромный ущерб национальному хозяйству во многих странах и нередко служат причиной гибели людей. Если мы не хотим нанести непоправимый ущерб окружающей, в том числе геологической среде, при освоении новых территорий или при интенсификации использования уже освоенных территорий, необходимо предусматривать мероприятия по защите их от вредного воздействия экзогенных геологических процессов, которые уже протекают, а также от тех процессов, которые могут возникнуть под влиянием техногенного воздействия. В Советском Союзе проводятся работы по составлению схем защиты территорий от геологических процессов на различных уровнях от союзных республик (в РСФСР - по автономным республикам, краям и областям) до отдельных районов и объектов. В связи с этим принята следующая система схем защиты территории от опасных геологических процессов: генеральные (региональные), специальные и локальные (детальные). Схемы на всех уровнях носят комплексный характер, а это означает, что в схемах предусматривается борьба со всеми основными геологическими процессами, которые развиты в данном районе, основанная на сочетании самых эффективных для данного случая способов.

Генеральные схемы в СССР должны составляться в целом для союзной республики, автономной республики, края, области, а региональные схемы - для физико-географических или инженерно-геологических крупных таксономических единиц. Для государств с небольшой территорией генеральные схемы целесообразно составлять в целом для всей страны.

Специальные схемы разрабатываются в развитие генеральных и региональных схем и предусматривают мероприятия по защите территории в связи с возведением линейных, гидротехнических и других сооружений, а также мероприятия по защите отдельного крупного района от одного или нескольких процессов. Специальные схемы могут предусматривать защиту территории только от селевых потоков или только от оползней, если другие процессы в этом бассейне не представляют угрозы. В Советском Союзе разработано несколько подобных схем, например, схема защиты берегов Крыма от абразии. Эта схема предусматривает комплекс мероприятий по строительству волноотбойных стенок, волноломов, бун, а также искусственную подсыпку пляжей. На оползневых участках в береговой полосе применен комплекс мероприятий по стабилизации оползневых процессов - отвод поверхностных и подземных вод, подпорные стенки, буронабивные сваи и т.д.

Детальные (локальные) схемы защиты территории разрабатываются при составлении генеральных планов городов, крупных промузлов, расположенных в районах со сложными инженерно-геологическими условиями. Они рассматриваются как составная часть проектов по инженерной подготовке территории. В зависимости от сложности инженерно-геологических условий Г.С.Золотарев, К.А.Гулакян, В.С.Федоренко, И.О.Тихвинский и А.И.Шеко предлагают выделять 4 категории территорий: I - весьма сложные, II - сложные, III - средней сложности; IV - простые. В таблице 18.1 приведена характеристика территорий различных по сложности инженерно-геологических условий.

При составлении схем в Советском Союзе предусмотрено обязательно учитывать механизм оползневых смещений и механизм формирования селевых потоков, а также масштаб их проявления. По масштабности проявления в соответствии с инструкцией Госстроя СССР приняты следующие градации по объему проявления геологического процесса [4, 5], приведенные в табл.18.2.

Таблица 18.1

ХАРАКТЕРИСТИКА

сложности инженерно-геологических условий территорий различных категорий

Категория сложности	Рельеф	Геологическое строение	Сейсмичность и современные тектонические движения	Экзогенные геологические процессы
I Весьма сложные	Альпийские и высокогорные области	Сложнодислоцированные породы, разбитые тектоническими трещинами	Современные тектонические движения интенсивные, сильно дифференцированные. Землетрясения > 6 баллов	Интенсивно развиты оползни, обвалы, осыпи, морозное выветривание, криогенные процессы, карст. Возможны обвалы и оползни объемом 1 км^3 и более
II Сложные	Среднегорные и предгорные области	Сложнодислоцированные породы, широкое распространение песчано-глинистых и крупнообломочных пород	Современные тектонические движения средней интенсивности. Землетрясения 4-8 баллов	Интенсивно развиты оползни, сели, карст. В северных районах - криогенные процессы
III Средние	Равнинные побережья морей, океанов, водохранилищ; заболоченные равнины с многолетнемерзлыми породами; межгорные впадины; равнины, сложенные карстующимися породами	Слабодислоцированные породы разного состава, с наличием в разрезе пород, склонных к развитию оползневых, карстовых и других процессов	Интенсивность современных тектонических движений обычно слабая. Землетрясения от 3 до 5 баллов	Интенсивное развитие оползней и других типов обрушения по берегам морей и рек; заболачивание, криогенные процессы, просадки в лессовых породах
IV Простые	Равнины, возвышенности	Преимущественно песчано-глинистые слаболитифицированные породы, лессовые породы, реже крупнообломочные	Интенсивность современных тектонических движений обычно слабая. Землетрясения редкие и слабые, до 3 баллов	Овражная эрозия, оползни по долинам рек, карст, просадки

Таблица 18.2

Масштабность проявления геологических процессов

Масштаб оползней и селей	Объем оползней и селей, $м^3$
Небольшой	Сотни
Довольно большой	Тысячи
Большой	Десятки тысяч
Очень большой	Сотни тысяч
Огромный	Миллионы
Грандиозный	Десятки и сотни миллионов

2. Схемы защиты от оползней и селей. Генеральные и региональные схемы

Генеральные и региональные схемы предусматривают, как отмечалось выше, комплекс мероприятий по защите геологической среды и хозяйственных объектов от оползней и селей с учетом других экзогенных геологических процессов для крупных административных районов или физико-географических регионов. Основная цель этих схем – определить методологический подход и общие принципы защиты и ориентировочную стоимость всех мероприятий, а также разработать рекомендации по рациональному использованию территории.

Методологический подход и общие принципы защитных мероприятий зависят от физико-географических и геологических условий. По этому признаку можно выделять равнинно-платформенные и горно-складчатые области. Равнинно-платформенные области, как правило, характеризуются инженерно-геологическими условиями простой или средней сложности. В этих областях из рассматриваемых нами геологических процессов распространены оползни. Оползневые процессы развиваются по берегам морей, водохранилищ, по долинам рек и оврагам на участках, где на поверхность выходят глинистые отложения. По механизму смещения в равнинно-платформенных областях могут быть все типы оползней. В основном, оползни имеют сравнительно небольшие размеры и относятся по масштабности к двум первым категориям. В горно-складчатых областях развит очень широкий спектр экзогенных геологических процессов, поэтому при разработке охранно-защитных мероприятий в этих областях оползни и сели должны рассматриваться в парагенезе с другими генетическими типами экзогенных геологических процессов. Важной отличительной особенностью горно-складчатых областей является обычно их высокая сейсмичность. Пораженность территории оползнями и селями может быть очень сильной, а масштабность проявления оползней часто может достигать огромных и грандиозных размеров. При разработке схем защиты от оползней, тем более от селей необходимо учитывать, что защищаемые объекты могут находиться на больших расстояниях от их очага. Оползневые процессы в горно-складчатых областях практически могут развиваться во всех петрографических типах пород, но наиболее интенсивно они развиваются в песчано-глинистых слаболитифицированных породах (глинах и аргиллитах).

Обоснование генеральных и региональных схем противоселевых и противооползневых защитных мероприятий делается на инженерно-геологических картах, масштаб которых определяется в зависимости от категории сложности территории. Для первой категории территорий, весьма сложных, основные инженерно-геологические карты должны быть в масштабе 1:100 000 и как исключение 1:200 000, для второй и третьей групп сложности в масштабе 1:200 000, а для четвертой масштаб может быть уменьшен до 1:500 000. К основным инженерно-геологическим картам относятся карты условий развития и районирования по интенсивности проявления экзогенных геологических процессов, а также карта подверженности населенных пунктов и хозяйственных объектов воздействию экзогенных геологических процессов. Эти карты составляются на основе регионального изучения проявления оползней и селей. В ходе регионального изучения должна быть составлена классификация экзогенных геологических процессов. Разделение оползней и селей на этой карте должно быть доведено до видов и разновид-

ностей. На основе изучения на ключевых опорных участках необходимо дать типовую характеристику каждого выделенного вида оползней и селей.

К основным картам относятся также инженерно-геологическая карта долговременных региональных прогнозов оползней и селей. Масштаб этих карт может быть от 1: 200 000 до 1:500 000. Методика составления вышеуказанных карт приведена в соответствующих главах данной монографии. Кроме того, необходимо иметь следующие карты: рельефа, гидрогеологическую, растительности, почв и климатические карты (годового количества осадков, осадков за холодный и теплый период, температур, интенсивности дождей и другие), а также ряды наблюдений за проявлением оползней, селей и основных (независимых) быстроизменяющихся факторов. В генеральной схеме приводятся данные по убыткам, которые имели место, и делается расчет возможных убытков.

Для каждого инженерно-геологического участка подсчитывается пораженность различными видами оползней и селей, а также указывается их масштабность. Разрабатываются типовые схемы защиты территорий для инженерно-геологического района и участка с учетом хозяйственной освоенности и рекомендаций по дальнейшему использованию. Типовые схемы сопровождаются предварительным расчетом стоимости противоселевых и противооползневых защитных мероприятий. Комплекс защитных мероприятий для типовых участков определяется исходя из наибольшей эффективности сочетания разных способов защиты.

Специальные схемы

Специальные схемы могут разрабатываться по принципу защиты хозяйственных объектов или по принципу защиты от разных генетических типов экзогенных геологических процессов. Первому принципу соответствуют схемы защиты гидротехнических сооружений, железных и автомобильных дорог, сельскохозяйственных угодий от всей совокупности развитых на данной территории экзогенных геологических процессов. Второй принцип предусматривает схемы защиты территории (геологической среды) от какого-нибудь одного генетического типа экзогенных геологических процессов, обычно наиболее опасного для данного объекта. В качестве подобных схем могут быть названы следующие схемы (для СССР): защиты г.Алма-Аты от селевых потоков, защиты г.Одессы от оползней и другие. В том случае, если специальные схемы составляются по второму принципу, то должны предусматриваться мероприятия по борьбе и с другими экзогенными геологическими процессами в объеме, необходимом для предотвращения их влияния на активизацию основного процесса.

Для обоснования специальных схем инженерно-геологические исследования проводятся в масштабе от 1:50 000 до 1:25 000 и носят комплексный характер. Основная цель этих исследований оконтурить площади проявления разных видов оползней. Для селевых потоков необходимо определить тип и оконтуровать площади очагов зарождения, пути движения и зону разгрузки. Инженерно-геологические исследования должны включать проведение специализированной инженерно-геологической съемки, горно-буровые и геофизические работы, изучение физико-механических свойств горных пород.

При изучении оползней необходимо установить мощность четвертичных образований, а при изучении селей провести разведку очагов зарождения селей. Кроме того, необходимо иметь данные о параметрах, которые перечислены для генеральной схемы, но эти данные должны относиться к изучаемому району. Составляется карта долговременных прогнозов развития оползней и селей на данном участке. Пространственной основой прогнозных карт являются карты геодинамического потенциала; в случае оползней – это карты оползневого потенциала или другие карты, отражающие вероятность проявления оползневых процессов в данном районе. На основе перечисленных материалов производится районирование территории по особенностям ее защиты, т.е. выделяются участки с различными видами или сочетаниями видов защитных мероприятий. Например, при разработке схемы противоселевой защиты показываются места сооружения селезадерживающих плотин с их характеристикой, участки, где проводятся руслоукрепительные работы и их виды; оконтуровываются участки, где проводятся лесонасаждение, спуск моренных озер и т.д.

Производится расчет стоимости каждого вида работ и определяется общая стоимость

мероприятий по данной специальной схеме. В этой схеме в случае необходимости, как в генеральной схеме, приводятся рекомендации по рациональному использованию территории.

Детальные схемы

Детальные схемы разрабатываются в ходе составления генеральных планов городов и крупных промышленных узлов. Инженерно-геологическое обоснование схемы делается в масштабе 1:10 000 - 1:5 000, а в отдельных случаях и в более крупном. Инженерно-геологические исследования для обоснования детальной схемы должны включать комплексную инженерно-геологическую и гидрогеологическую съемку соответствующего масштаба, горно-буровые и геофизические работы, полевые опытные работы (пробные откачки подземных вод), изучение физико-механических свойств горных пород. Делается расчет устойчивости склонов и составляется прогноз развития оползней и селей на данном участке. В ходе проведения инженерно-геологических исследований должны быть получены все данные, необходимые для определения места каждого защитного сооружения. При разработке детальных схем для объектов, расположенных в горно-складчатых областях, необходимо проводить детальные инженерно-геологические исследования не только на площади самого объекта, но и в селеносных бассейнах и на участках склона, где могут возникнуть оползни, которые будут угрожать хозяйственному объекту.

Проекты защиты от оползней и селей

Следующим этапом является разработка проектов защиты от оползней и селей. Проекты этих работ составляются в развитие специальных и детальных схем. В ходе инженерно-геологических исследований на этой стадии должны быть получены данные, достаточные для определения размеров сооружения в целом и отдельных деталей. Инженерно-геологические исследования проводятся под каждое защитное сооружение, делается расчет конструкций, которые способны удержать оползень, селевой поток или предотвратить их.

3. Охранно-защитные мероприятия

Охранно-защитные мероприятия от оползней и селей можно подразделить на две группы: предотвращающие проявления оползней и селей и защищающие хозяйственные объекты от воздействия этих процессов. Соотношение между этими группами охранно-защитных мероприятий зависит от генетического типа, вида и разновидности геологического процесса. Для оползней преобладают мероприятия по предотвращению проявления этого процесса, а в случае селей основной является вторая группа мероприятий, предназначенных для непосредственной защиты хозяйственных объектов от селевых потоков.

Первым этапом в разработке охранно-защитных мероприятий на всех уровнях схем (генеральной, специальной или локальной) должны быть оценка максимально возможных размеров проявления оползней и селей в данном районе и выявление сочетания условий (факторов), при которых оно возможно, а также определение возможного ущерба.

Первая группа мероприятий - предотвращающие проявление оползней и селей

Первая группа охранно-защитных мероприятий, предотвращающих проявление оползней и селей, включает в себя: а) организационно-хозяйственные, б) мелиоративные и агротехнические, в) инженерные мероприятия.

Организационно-хозяйственные мероприятия по охране окружающей среды и защите геологической среды и хозяйственных объектов от оползней, селей и других экзогенных геологических процессов, прежде всего, должны исходить из принципов рационального использования территории. Под рациональным использованием территории следует понимать

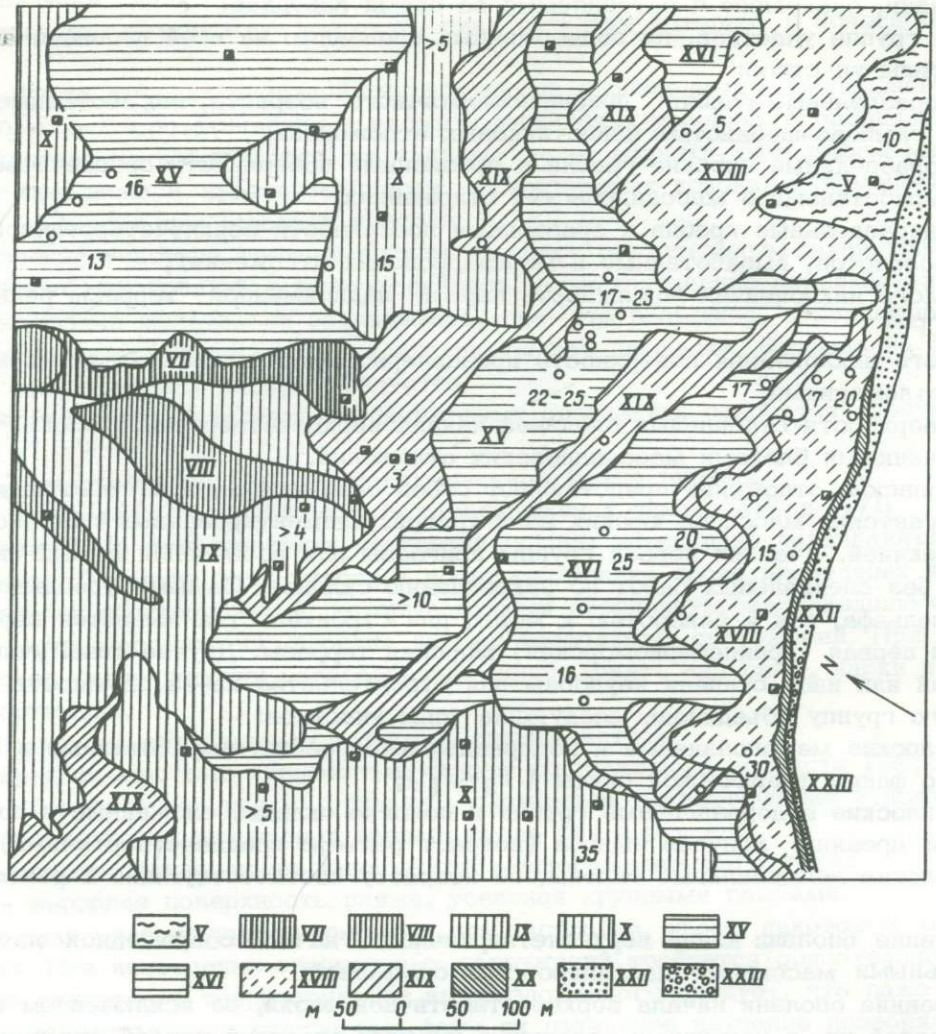


Рис.18.1. Фрагмент инженерно-геологической карты районирования территорий для курортного строительства оползневого склона около Гурзуфа (Крым). Римскими цифрами обозначены номера участков (объяснение к ним дано в тексте). Арабскими цифрами показана мощность четвертичных отложений. Квадратики-шурфы, кружочки - скважины

такое ее оптимальное распределение между различными видами хозяйственного освоения, которое позволяет с наименьшими затратами получить наибольший экономический эффект при условии обязательного проведения мероприятий по охране окружающей среды. Организационно-хозяйственные мероприятия в ряде случаев являются самым эффективным и экономически выгодным средством защиты от проявления оползней и селей.

В районах даже с очень интенсивным развитием оползневых процессов имеются участки, на которых эти процессы не проявляются и которые могут быть использованы для любого вида строительства. На рис.18.1 в качестве примера приведен фрагмент инженерно-геологической карты районирования оползневого склона в районе г.Гурзуфа (южный берег Крыма) для целей курортного строительства в масштабе 1:2 000 [15]. В этом районе оползневые формы рельефа занимают до 70-80% всей площади. Однако различные части склона в неодинаковой степени подвержены оползневым процессам. По степени проявления оползневых и некоторых других процессов, определяющих устойчивость и пригодность территории к тем или иным видам застройки выделено пять групп участков: не подверженные оползанию на всей площади; не подверженные оползанию на большей части площади; не подверженные оползанию на большей части площади, но при освоении которых должно быть обращено внимание на проведение противооползневых мероприятий; подверженные оползанию; подверженные на большей части площади речной

эрозии, абразии, оползанию и затопляемые во время паводков.

К первой группе участков, не подверженных оползанию на всей площади, отнесены следующие типы участков:

I – водораздельные гребни древнечетвертичного возраста, выработанные в массандровских глыбово-щебнистых известняковых отложениях;

II – водораздельные плоские гребни и эрозионные поверхности среднечетвертичного возраста, выработанные в массандровских отложениях;

III – водораздельные гребни и эрозионные поверхности верхнечетвертичного и современного возрастов, выработанные в массандровских отложениях;

IV – полого наклоненная поверхность первой надпойменной террасы реки Авунды (Крым, СССР);

V – полого наклоненная поверхность древнечерноморской террасы, перекрытая делювиальными отложениями;

VI – поверхности стабильных оползней начала верхнечетвертичной эпохи, представленных смещенными блоками массандровских отложений.

Массандровские отложения представляют собой скальные породы, состоящие из смещенных гигантских массивов юрских известняков, сцементированных глыбово-известковистой брекчией. Участки первой группы пригодны для возведения любых инженерных сооружений без специальных работ по закреплению склонов. Самыми удобными, как в отношении рельефа, так и близостью к морю, для строительства являются первая надпойменная и первая (древнечерноморская) морская террасы. Другие типы участков этой группы в той или иной степени неудобны для строительства из-за сложности рельефа.

Во вторую группу объединены следующие типы участков:

VII – плоские межоползневые и водораздельные гребни, выработанные в породах терригенного флиша таврической свиты (T_3-J_1);

VIII – плоские водораздельные гребни и пологие склоны, сложенные с поверхности отложениями древних конусов выноса (возраст рельефа среднечетвертичный);

IX – пологие делювиальные склоны, по возрасту соответствующие карангатской террасе;

X – древние оползни конца верхнечетвертичной – начала современной эпох, сложенные отдельными массивами массандровских отложений;

XI – древние оползни начала верхнечетвертичной эпохи, за исключением цирков и головных частей их, и некоторые отдельные участки оползней второй половины верхнечетвертичной эпохи.

Все участки этой группы являются устойчивыми, на них не наблюдается проявление оползневых процессов. Однако при обильном увлажнении в краевых частях этих участков, прилегающих к крутым склонам, в делювиальных отложениях и в выветрелой зоне пород таврической свиты могут происходить отдельные оползневые подвижки. На участках второй группы, как и на участках первой группы, возможна застройка любого типа, но при этом здания должны располагаться на безопасном расстоянии от бровки крутого склона. Это расстояние определяется с учетом выклинивания поверхности предельного равновесия [15]. При эксплуатации этих участков следует не допускать избыточного увлажнения грунтов за счет полива и утечек хозяйственных вод.

Третья группа участков, не подверженных оползанию, но при освоении которых требуется проведение противооползневых мероприятий, объединяет следующие типы участков;

XII – пологие ($< 15^{\circ}$) склоны долин, по возрасту относящиеся к концу верхнечетвертичной и современной эпохам;

XIII – крутые ($15-50^{\circ}$) склоны, выработанные в породах таврической свиты, покрытые тонким (до 3 м) слоем делювиальных отложений;

XIV – очень крутые ($> 50^{\circ}$) склоны, выработанные в породах таврической свиты, и цирки древних оползней, врезающиеся в породы таврической свиты;

XV – древние оползни, кроме цирков, по возрасту относящиеся ко второй половине верхнечетвертичной эпохи, головные части оползней начала верхнечетвертичной эпохи и отдельные участки более молодых оползней, относящихся по возрасту к концу верхнечетвертичной – началу современной эпох;

XVI – древние оползни, относящиеся по возрасту к концу верхнечетвертичной – на-

чалу современной эпох, исключая их головные части, и отдельные языковой части оползней древнечерноморского возраста, цикл развития которых, в основном, уже закончен;

XVII – цирки древних оползней, выработанные в безводных межоползневых гребнях.

В современных климатических и гидрогеологических условиях оползневых явлений на этих участках не наблюдается, но таковые могут возникнуть в любом месте участка вследствие повышенной чувствительности естественных условий к изменениям, которые будут вызваны при освоении участка.

При освоении участков третьей группы является обязательным проведение ряда противооползневых мероприятий, в первую очередь, – регулирование поверхностного стока; фундаменты зданий желательно закладывать, где это возможно, в коренные породы, и каждое здание приурочивать к отдельной оползневой площадке. Возведение тяжелых зданий на этих участках не рекомендуется.

К четвертой группе участков, подверженных оползанию, относятся следующие типы участков:

XVIII – современные (по возрасту) оползни, кроме цирков;

XIX – цирки всех оползней (кроме относящихся к типам XIV и XVII) и головные части оползней. На всех участках четвертой группы интенсивно развиваются оползневые процессы. Освоение этих участков возможно только после проведения комплекса противооползневых мероприятий, которые должны обеспечить стабилизацию склонов. Стоимость этих мероприятий нередко дороже возводимых сооружений. При курортном строительстве такие участки целесообразно использовать под сады, парки и легкие летние сооружения.

В пятую группу объединены следующие типы участков:

XX – крутые, местами обрывистые склоны современного возраста (морской береговой обрыв, берега русел рек и ручьев), сложенные четвертичными отложениями;

XXI – поверхность пойменных террас, русла рек и ручьев;

XXII – полого наклоненная поверхность мелкогалечникового пляжа;

XXIII – неровная поверхность пляжа, усеянная крупными глыбами.

Все участки этой группы непригодны для застройки, кроме некоторых специальных сооружений. При возведении специальных сооружений требуется обязательное проведение инженерной подготовки территории. Из вышеизложенного следует, что даже при самом широком распространении оползневых форм их детальное изучение позволило дать оценку пригодности территории для курортного строительства. Только сравнительно небольшая площадь, занятая участками четвертой и пятой групп, непригодна непосредственно для курортного строительства. Поэтому на основе этих материалов территория в районе Гурзуфа может быть рационально распределена между различными видами курортного строительства без большого объема дорогостоящих работ по предотвращению оползневых процессов.

Организационно-хозяйственные мероприятия, кроме планирования рационального освоения территории, включают: регулирование вырубки лесов и выпаса скота, недопущение отвалов пустой породы на склоны и в русла рек и увлажнения за счет хозяйственных вод, умеренный полив оползневых склонов и т.д. К этому классу мероприятий также следует отнести рациональную распашку склонов, которая должна производиться таким образом, чтобы уменьшить возможность возникновения оползней и селей.

Обычно считается, что распашку склонов необходимо вести только по горизонтали. Это уменьшает эрозию и увеличивает инфильтрацию поверхностных вод, образовавшихся за счет атмосферных осадков. Однако в случае оползневых склонов это мероприятие может привести к избыточному увлажнению грунтов и активизации оползневых процессов. Подобное явление наблюдалось на южном берегу Крыма зимой 1956 г. На оползневых склонах летом и осенью 1955 г. с целью корчевки виноградника были проведены взрывные работы. Грунт при этом разрыхлялся на глубину до 1,5 м. Зимой дождевая вода полностью поглощалась, и на склонах, где проводились взрывные работы, повсеместно произошла активизация оползней.

Мелиоративные и агротехнические мероприятия включают посадки леса и создание другого растительного покрова, террасирование склонов, химическую и термическую обработку грунтов и их обезвоживание.



Рис.18.2. Искусственные террасы на склонах в Крыму (фото А.Н.Олиферова)

Лесоразведение с целью борьбы с эрозией и селевыми потоками использовалось с давних времен. В настоящее время этот метод широко используется во многих странах. В странах Западной Европы восстановлению лесов стали уделять серьезное внимание в прошлом столетии. В Советском Союзе (в Средней Азии, на Кавказе, в Крыму) за годы советской власти осуществлен большой объем лесопосадок на горных склонах с целью предотвращения эрозии и селевых потоков. Только в республиках Средней Азии за период с 1947 по 1960 гг. лесомелиоративные работы были проведены на площади 90 тыс.га. Большая работа по восстановлению лесов ведется в Новой Зеландии. В этой стране в горах Раукумара начиная с 1960 г. восстановлены леса на площади 300 км^2, а к 2025 г. по плану эти работы должны быть проведены на площади 15 тыс. км^2.

Значительный опыт по изучению эрозии и исследованию эффективности различных способов террасирования склонов накоплен в Советском Союзе горно-мелиоративными и горно-лесными станциями. Следует обратить внимание на то, что лесоразведение на горных засушливых склонах с бедными почвами сопряжено с большими трудностями. В результате экспериментальных исследований, проведенных Крымской горно-лесной станцией, было установлено, что гибель лесопосадок была обусловлена неправильной агротехникой - малыми размерами площадок, что приводило к иссушению почвы на них, и как следствие, к гибели растений [14]. Поэтому попытки лесоразведения в Средней Азии и в Крыму без террасирования склонов не имели успехов. Размеры террас и расстояния между ними определяются для конкретных физико-географических условий и вида растительности. А.Н.Олиферов для условий Крыма рекомендует на склонах крутизной более 13° проводить террасирование с последующим лесоразведением, на склонах крутизной от 8° до 13° - обработку широкими полосами, а склоны крутизной менее 8° можно обрабатывать сплошь без оборота пласта при помощи рыхлителей. Минимальная ширина террас должна быть не менее 3 м (рис.18.2 и 18.3). Сильно эродированные склоны при подготовке почвы под лесопосадки необходимо мульчировать, т.е. покрывать их щебнем глинистых сланцев, известняков, песчаников или других пород для защиты от склоновой эрозии, ветра и солнечных лучей, а также для того, чтобы уменьшить испарение влаги из почвы [14]. Виды деревьев и кустарников должны подбираться с учетом их приживаемости и свойств корневой системы, способной создавать скрепляющий грунт каркаса. Для облесения горных склонов в Крыму используются сосна крымская, дуб черешчатый и скальный, кедр гималайский и ливанский, груша мехолистная, вишня магалебская, а также кустарники: ракитник, скумпия и дрок испанский [14]. В Средней Азии облесение осуществляется за счет посадок орехово-плодовых и плодовых пород деревьев, а также акации белой, вяза, сосны крымской, дуба черешчатого, ясеня, клена.

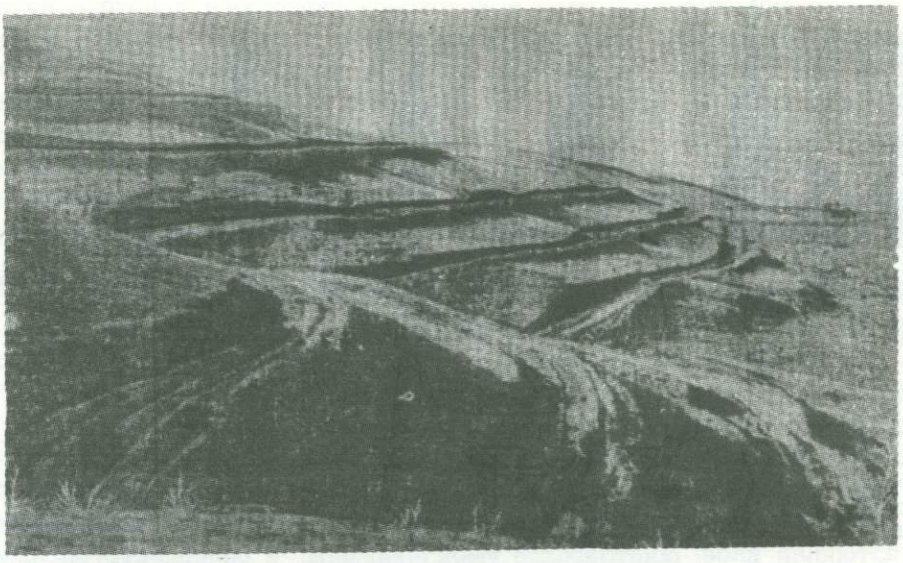


Рис.18.3 Свеженарезанные террасы, подготовленные к посадке леса (А.Н.Олиферова)

Кроме того, в Киргизии были сделаны посадки лиственницы сибирской. В Новой Зеландии для закрепления склонов используется сосна (Pinus radiata) [6].

И.А.Клевцов [6] для борьбы с оплывинами и неглубокими оползнями-потоками рекомендует выбирать деревья, имеющие стержневую и стелящуюся корневые системы. Для условий средней полосы и юга Европейской части СССР наиболее подходящими являются следующие виды деревьев: дуб, берест, белая акация, явор татарский, липа, а также кустарники: лесной орех и лох узколистный. Для Кавказского побережья Черного моря, кроме того, наиболее эффективными являются австралийская акация и эвкалипт. И.А.Клевцов установил, что корни береста в плотных сарматских глинах проникают на глубину 7 м, а корни белой акации распространяются в радиусе 12 м от ствола. Очень важным качеством этих деревьев является хорошая их приживаемость. Наибольшая эффективность при закреплении склонов может быть достигнута в том случае, если на склоне чередовать виды деревьев с различными корневыми системами, как это показано на рис.18.4.

Для обезвоживания грунтов, слагающих оползневые склоны, могут быть использованы следующие способы: предотвращение инфильтрации поверхностных вод, открытый дренаж, подземный дренаж, в том числе иглофильтровый, вакуумный и электроосмотический. Во время дождей в западинах на поверхности тела оползня скапливается большое количество воды, которая по трещинам проникает в глубь тела и увлажняет его. Большое количество воды поступает с вышележащей части склона. Поэтому планировка поверхности оползня и отвод дождевых и талых вод представляет собой одно из основных требований при проведении противооползневых мероприятий, и осуществляется оно путем создания сети ливневодов. В пределах оползня ливневоды должны иметь телескопические соединения для предохранения в случае подвижек оползня. В отдельных случаях для предотвращения инфильтрации дождевых и талых вод применяются различного рода покрытия.

Обводнение грунтов на склоне за счет подземных вод часто является основной причиной возникновения оползней. Для осушения оползневого тела и перехвата подземных вод, обобводняющих оползневой склон, сооружаются открытые и подземные дренажи. Открытый дренаж представляет собой траншею или прорезь, заполненные галькой или щебнем. Подземные дренажи – это штольни, пройденные с целью перехвата подземных вод. Дренаж подземных вод может быть осуществлен при помощи горизонтальных скважин. Иглофильтры, вакуумный и электроосмотический способы водопонижения при борьбе с оползнями обычно применяются как временные мероприятия в слабоводопроницаемых породах с коэффициентом фильтрации менее 2 м/сут.

Физико-химические способы закрепления грунтов при противооползневой защите еще слабо разработаны и практически не применяются. Применение этих способов для закрепления скальных пород на крутых склонах (цементация) является перспективным. Терми-

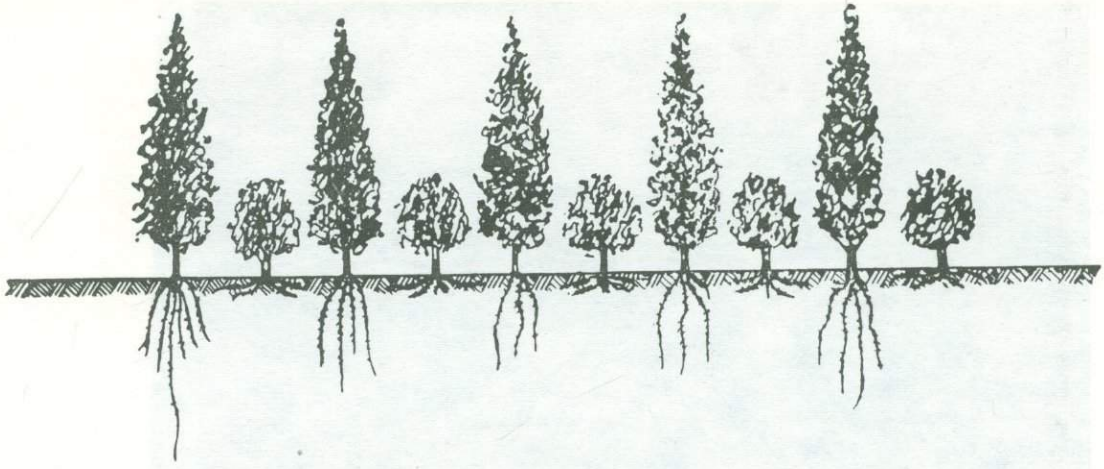


Рис.18.4. Схема посадки деревьев с различными типами корневой системы (по И.А.Клевцову)

ческое упрочение грунтов при производстве противооползневых мероприятий, из-за сложности его технологии применяется очень редко.

Экспериментальные исследования по закреплению оползней путем обжига глин, выполненные И.А.Клевцовым [6], показали положительные результаты. Суть способа заключается в следующем. В склоне проходится штольня; в почве штольни по всей ее длине делается из кирпича вентиляционный канал, в который укладываются дрова, а выше каменный уголь. По оси штольни через 5-10 м пробуриваются скважины диаметром 20-25 см. Кроме этих скважин делается специальный дымоход в виде шурфа или скважины. Для закрепления 1 пог. метра массива объемом 50 $м^3$ требуется 1,5-2 $м^3$ дров и 6-8 т каменного угля [6]. В описанном виде этот способ нельзя признать перспективным, но сама идея обжига грунтов с использованием газа или жидкого топлива, сжигаемых в скважинах, может привести к разработке эффективных и сравнительно несложных способов.

К мелиоративным, предотвращающим формирование селевых потоков, мероприятиям следует также отнести уменьшение склонового стока за счет распределения его во времени, а также работы, связанные с замедлением таяния ледников и снега. Эти методы разработаны в Казахском научно-исследовательском гидрометеорологическом институте (СССР) под руководством С.П.Кавецкого [14]. Суть первого способа заключается в уменьшении стока до такого минимума, который исключает возможность зарождения селевого потока. Это достигается тем, что при помощи покрытия снега угольной пылью или золой ускоряют снеготаяние, и к периоду возможных дождей снег на склонах уже растаивает. Таким образом, это позволяет устранить возможность наложения воздействия атмосферных осадков на процесс таяния снега, что существенно снижает расходы паводков. Формирование гляциальных селей происходит обычно в периоды жаркой погоды, когда интенсивно тают снега и лед. Этим же институтом для уменьшения солнечной радиации на ледник был применен метод дымового экрана. Над ледником в дни и часы наибольшей селеопасности создается дымовая завеса, которая резко снижает прямую солнечную радиацию и таяние ледника.

К гидротехническим мероприятиям, предотвращающим образование селевых потоков и оползней, относятся спуск моренных и завальных озер, сооружение нагорных водосборных канав, а также регулирование русла. Спуск моренных озер с целью предотвращения селей широко применяется в Казахстане. Нагорные канавы предназначаются для отвода воды со склона или из селеопасного русла в другой водоток, не опасный в отношении формирования селей. Инженерные мероприятия применяются, в основном, для предотвращения проявления оползневых процессов и включают работы по изменению рельефа с целью повышения устойчивости склона, берегозащитные сооружения и поддерживающие (удерживающие) сооружения. Эти мероприятия широко описаны в литературе [1,2,3,8, 11,13,16] и многие другие , поэтому в данном разделе рассмотрены только принципиальные вопросы их назначения. К инженерным сооружениям, предотвращающим формирование селевых потоков, могут быть отнесены небольшие запруды (барражи) и бе-

тонные лотки в руслах небольших водотоков в зоне формирования селей.

Изменение рельефа склона с целью предотвращения оползневых процессов сводится к созданию более устойчивого его профиля, которое достигается или выполаживанием всего склона, или перемещением масс грунта с головной части в языковую, или изменением формы склона. Этим работам должны предшествовать расчеты, в ходе которых определяется коэффициент устойчивости склона в целом и отдельных его частей. При этом следует иметь в виду, что склоны, имеющие выпуклую форму, менее устойчивы, чем вогнутые склоны. В первом случае тангенциальные силы работают на растяжение, во втором - на сжатие.

Берегозащитные сооружения предназначаются для предохранения нижней части оползневых склонов от размыва. Они могут быть морскими и речными. Для защиты морских берегов от абразии применяются волноотбойные стенки, буны, волноломы, наброска из фигурных железобетонных блоков - тетраэдров и тетраподов, различные типы откосной одежды, искусственная отсыпка пляжа. Волноотбойные стенки на оползневых участках должны выполнять также роль удерживающих сооружений. В этом случае фундамент стенки должен быть заложен на глубину ниже подошвы оползня. Опыт эксплуатации волноотбойных стенок на советских берегах Черного моря показал, что более устойчивыми по отношению к динамическому воздействию волн являются стенки с криволинейным вогнутым профилем. Волноотбойные стенки широко применяются для защиты от размыва языковых частей оползней на побережье Черного моря. Оказалось, что эффективно волноотбойные стенки работают при ширине пляжа 18-20 м, а на участках, где ширина пляжа менее 8-10 м, происходит интенсивный подмыв основания стен и разрушение на ординаре от интенсивной бомбардировки галькой [3]. Буны - это железобетонные надводные сооружения в виде стенки, идущей от берега, чаще от волноотбойной стенки, в море перпендикулярно берегу. Буны предназначаются для накопления пляжевых наносов или сохранения искусственно отсыпанных пляжей. Н.И.Дубровин [3] считает, что наиболее эффективными для побережья Черного моря в районе Сочи являются буны полного профиля с отметкой корневой части 2,5 - 3 м, длиной 60-80 м и с расстоянием между ними 60-70 м. Быстрое накопление пляжевого материала происходит только в том случае, если имеется вдольбереговой перенос его. Накопление пляжевого материала в отсеках между бунами происходит последовательно по направлению вдольберегового потока наносов. В тех случаях, когда вдольбереговой поток наносов отсутствует или он недостаточен для заполнения отсеков между бунами, делают искусственную отсыпку пляжа. За два года после постройки бун в районе Сочи сформировался пляж шириной 18-20 м.Г.Л.Тихвинская [3] по району Сухуми приводит следующие данные. Буны в этом районе были построены на нескольких участках, длина бун изменяется от 20 до 64 м. При этом длина бун на каждом участке уменьшается в направлении вдольберегового потока наносов, глубина моря на месте оголовки бун 2-3 м, корневые части почти всех бун достигают верхней бровки пляжа; оголовки возвышаются над уровнем моря на 0,4-0,5 м, а корневые части - на 2 м. На Петропавловском участке (Черноморское побережье, СССР) в 1959 г. было построено 26 бун. В отсеках между бунами везде образовался пляж шириной 16-30 м, подмыв подпорно-волноотбойных стен прекратился. В связи с тем, что буны в течение определенного срока полностью перехватывали вдольбереговой поток наносов, берег к востоку от участка, где сооружены буны, начал интенсивно размываться. Для предотвращения начавшегося процесса в 1961 г. было построено еще 7 бун. Почти аналогичная картина наблюдалась и на других участках.

Волноломы представляют собой железобетонное сооружение в виде стены, параллельной берегу моря. Волноломы обычно сооружаются вместе с траверсами в сторону берега. Эти сооружения предназначены так же, как и буны, для удерживания и накопления пляжа. Обычно делают волноломы затопленного типа, гребень которых находится ниже уровня моря на 0,5-0,7 м. Г.Л.Тихвинская [3], занимавшаяся анализом работы волноломов на Черноморском побережье в пределах Абхазской АССР, отмечает, что после постройки волнолома с двумя траверсами на Втором Новоафонском участке и отсыпки в его пазуху пляжевого материала, размыв берега прекратился и образовался пляж шириной 50 м.

Первые волноломы в районе Сочи были построены на участке Приморского парка в 1947-1948 гг. На этом участке в связи со строительством порта был прерван вдоль-

береговой поток наносов, уничтожен пляж, начался необратимый процесс размыва берегов, который вызвал активизацию оползневых процессов. Н.И.Дубровин [3], анализируя эффективность работы волноломов, приводит следующие интересные данные. После сооружения волноломов накопление наносов происходило с интенсивностью 4 $м^3$ в год на 1 пог. метр сооружения. К 1956 г. сформировался пляж шириной 10 м, при этом объем наносов составил 31481 $м^3$. В дальнейшем рост пляжа продолжался и к середине 70-х гг. достиг ширины 15-18 м. В связи с этим прекратились размыв дна и подмыв волноотбойных стен, практически прекратились оползневые подвижки. Во всех случаях применение волноломов и бун на Черноморском побережье с учетом особенностей природных условий было эффективным.

Наброска из железобетонных тетраэдров и тетраподов в условиях Черноморского побережья (СССР) показала достаточно высокую эффективность. В связи с тем, что беспорядочная наброска бетонных блоков нарушает естественную эстетику природы, этот вид защиты применяется как временный в экстренных случаях. После сильного шторма на Черном море в 1969 г., который нанес серьезные повреждения курорту Пицунда (СССР), для защиты пансионатов "Амра" и "Колхети" были сделаны наброски из бетонных кубов и тетраподов, что предотвратило разрушение зданий от последующих штормов в 1969, 1970 и 1971 гг. Длина каждой наброски вдоль берега составляет около 100 м [9]. В том же году наброска из бетонных кубов была применена для защиты от размыва языковой части оползня "Золотой пляж" в районе Ялты.

Защита берегов рек от размыва производится при помощи бетонных стенок, фашинных стенок, наброски крупных камней, глыб и бетонных кубов, сооружения полузапруд. Полузапруды предназначены для отклонения течения реки от защищаемого берега. Кроме того, для предотвращения глубинного размыва русла применяют барражи, бетонные лотки, покрытие дна крупнообломочным материалом. В городах небольшие речки часто заключают в трубы, а долину засыпают грунтом. Например, в Москве, по данным Ф.В.Котлова [7], засыпано более 100 км долин рек и ручьев.

Поддерживающие (удерживающие) сооружения предназначены для механического удерживания смещающихся масс горных пород. К этому классу сооружений относятся контрфорсы, подпорные стенки, анкерные конструкции, буронабивные сваи, торкрет-бетон. Контрфорсы, или упорные призмы, сооружаются у основания откоса (склона) для создания дополнительного веса, необходимого для того, чтобы воспрепятствовать сдвижению массива грунтов с вышележащей части склона. Контрфорсы сооружаются обычно в виде призмы насыпного грунта (рис.18.5).

Контрфорсы, как и другие подпорные сооружения, должны быть рассчитаны на опрокидывание, на скольжение при контакте с кровлей подстилающего слоя грунта или внутри последнего, а также на сдвиг внутри контрфорса [11]. При проектировании контрфорсов необходимо предусмотреть мероприятия по отводу подземных вод: насыпные грунты не должны создавать их подпор. Для сооружения контрфорсов необходима площадь, свободная от застройки, поэтому в населенных пунктах, где таковая отсутствует, эти сооружения мало приемлемы.

Подпорные стенки – это сооружения из бетона, из каменной кладки, армированные железом, для сдерживания смещающихся масс грунта, которые расположены выше по склону (рис.18.6).

Подпорные стенки могут быть разнообразных конструкций, но обязательным требованием является заглубление основания стенки ниже поверхности скольжения с таким расчетом, чтобы она не опрокинулась под напором вышележащего грунта, а также наличие застенного дренажа. Подпорные стенки применяются для удержания смещающихся массивов пород твердой консистенции (оползни скольжения). Для закрепления оползней-потоков и оплывин подпорные стенки непригодны, т.к. смещающаяся масса грунтов может переползать через подпорную стенку. Этот вид сооружений обычно применяется для предотвращения небольших оползней-блоков на откосах искусственных выемок (автомобильные и железные дороги), а также при планировке городских территорий. Иногда при оползании жестких блоков пород вместо подпорных стенок могут применяться контрфорсные столбы. Основание столбов должно быть также заложено в несмещающиеся породы (рис.18.7). Контрфорсные столбы были применены для удержания оползней-блоков на Черноморском побережье в районах Сухуми и Ялты [3].

Сваи, применяемые для закрепления оползневых склонов, могут быть забивные и

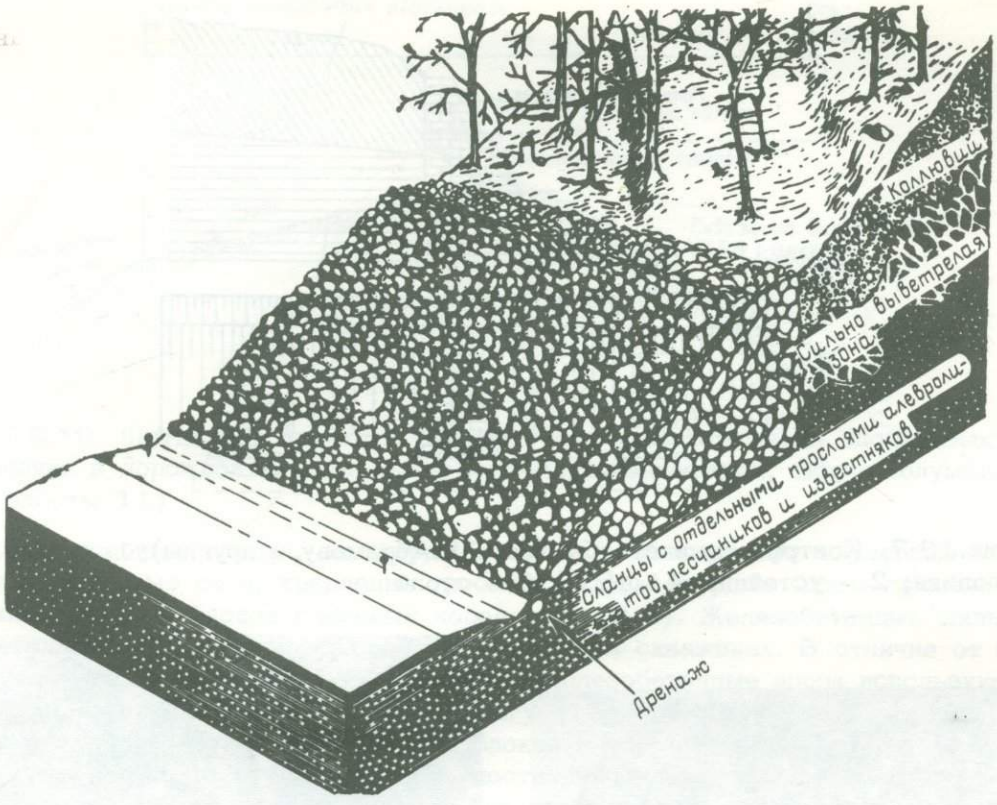


Рис.18.5. Каменный контрфорс, построенный для укрепления неустойчивого склона (из работы 11)

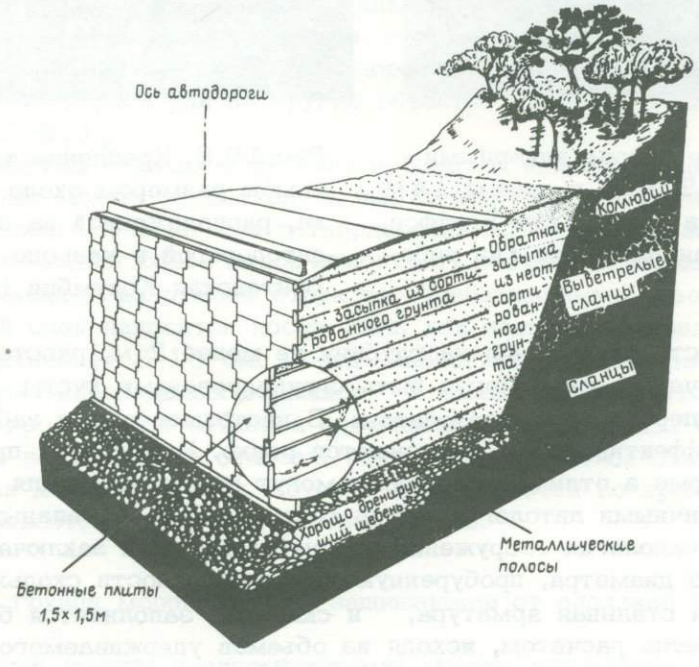


Рис.18.6. Подпорная стена из армированного грунта (из работы 11)

буронабивные. Забивные сваи могут применяться в однородных связных грунтах при достаточно хорошо выраженной поверхности скольжения, залегающей сравнительно неглубоко. Сваи на поверхности оползня располагаются в шахматном порядке и забиваются в

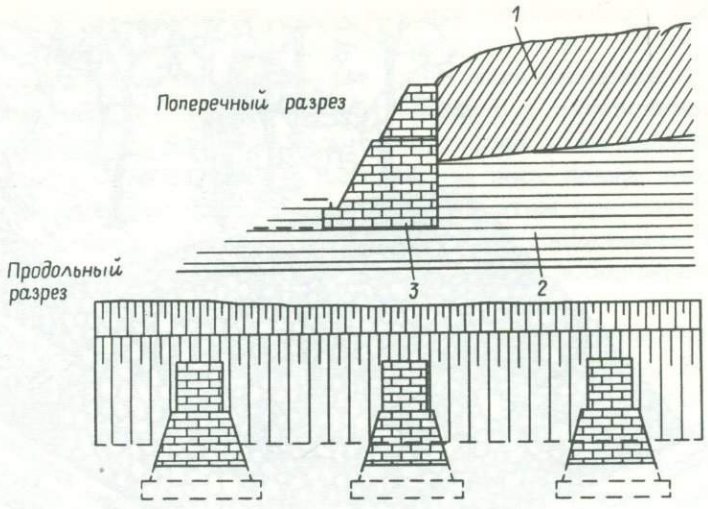


Рис.18.7. Контрфорсные столбы (по С.К.Абрамову и другим): 1 – тело оползня; 2 – устойчивый массив; 3 – столб

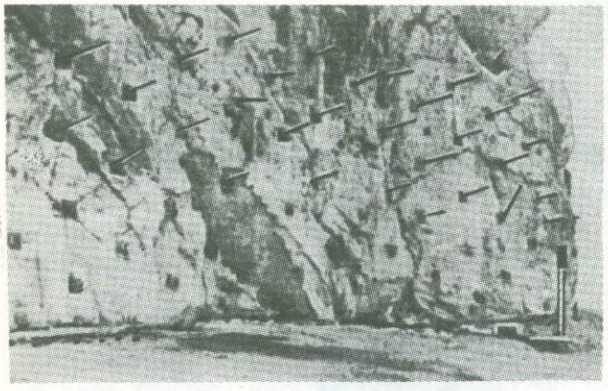


Рис.18.8. Крепление склона анкерными болтами диаметром 3,5 см и длиной 14 м в основании откоса в Хеллс-Гент-Блаффсе, провинция Британская Колумбия (из работы 11)

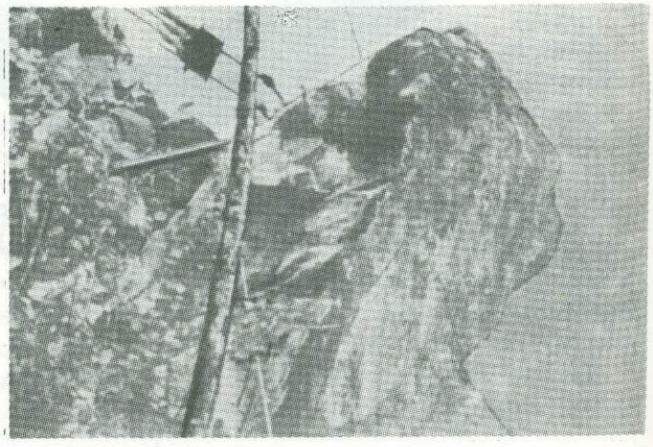


Рис.18.9. Крепление тросом неустойчивой глыбы размером около 2 м в поперечнике, расположенной на высоте 90 м над автодорогой в каньоне Фразер, провинция Британская Колумбия (из работы 11)

грунт ниже поверхности скольжения на глубину не менее 2 м, расстояние между сваями определяется расчетом, сваи могут быть сгруппированы в кусты [1]. Забивные сваи изготавливаются из дерева или железобетона. В настоящее время забивные сваи в связи с их небольшой эффективностью применяются редко. Вместо них применяются буронабивные сваи, которые в отличие от первых могут применяться для закрепления оползней, сложенных различными литологическими типами пород от связных пластичных до крепких скальных. Технология сооружения буронабивных свай заключается в следующем. В скважину большого диаметра, пробуренную ниже поверхности скольжения на расчетную глубину, погружается стальная арматура, и скважина заполняется бетоном. Количество скважин определяется расчетом, исходя из объемов удерживаемого массива. Опыт борьбы с оползнями в Крыму и на Кавказе (СССР) показал большую эффективность этого способа.

Анкерные конструкции отличаются большим разнообразием; их обзор дан в монографии под редакцией Р.Шустера [11]. Суть этих конструкций заключается в том, что устойчивость смещаемого массива горных пород обеспечивается путем прикрепления его при помощи тяги к устойчивой части склона. Укрепление склонов при помощи различных анкерных устройств широко применяется в США.

Среди анкерных конструкций можно выделить следующие: анкерные болты, ж зобе-

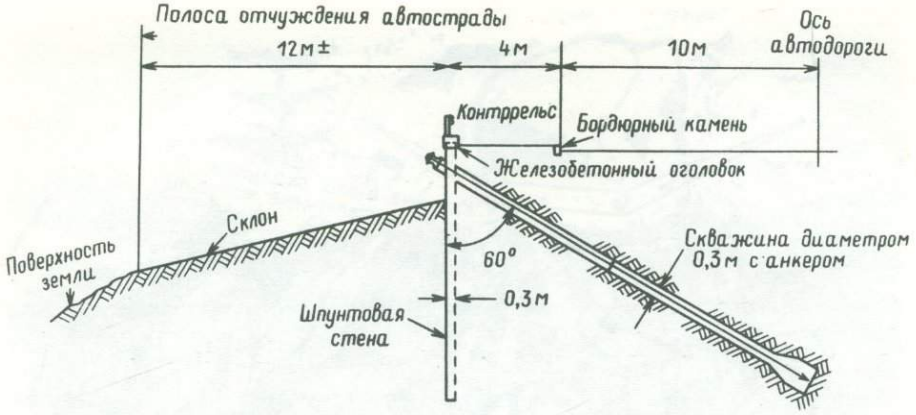


Рис.18.10. Шпунтовая стенка с анкерами для предотвращения оползневых смещений в дорожной насыпи авеню Нью-Йорк, Вашингтон, округ Колумбия (из работы 11)

тонные шипы, тросовые анкеры, заанкеренные балки, заанкеренные шпунтовые стенки, заанкеренные тросовые сети, крепление тросами [11]. Анкерные болты применяют для закрепления отдельных блоков скальных пород (рис.18.8). Железобетонные шипы состоят из металлических стержней зацементированных в скважинах. В отличие от болтов они не подвергаются последующему натяжению. Железобетонные шипы используются как шпоны для увеличения сопротивления сдвигу [11]. Тросовые анкеры применяются обычно для удержания крупных оползневых блоков в том случае, когда устойчивая часть склона, которая могла бы служить опорой, достаточно удалена от смещаемого массива. Крепление тросами может быть применено для удержания на склоне отдельных крупных блоков скальных пород, которые угрожают автомобильной дороге и другим объектам (рис.18.9). Заанкеренные балки крепятся к склону анкерными болтами и служат для удержания мелких блоков. Применение балок сокращает объем работ по сравнению с тем, который необходим при закреплении каждого блока в отдельности. В связных грунтах могут применяться шпунтовые стенки с анкерными оттяжками, которые прикрепляются одним концом к оголовкам шпунтов, а другой конец заделывается в склон (рис.18.10). Для удержания мелких блоков пород от смещения вниз по склону и падения на проезжую часть дороги или на другие объекты используются заанкеренные тросовые сети (рис.18.11).

Закрепление на крутых откосах и склонах небольших камней, а также защиту горных пород от выветривания можно осуществлять при помощи торкрет-бетона и покрытия склона эмульсиями, которые способны при затвердевании образовывать защитную пленку. Торкрет-цемент представляет собой смесь цемента и песчаного заполнителя. Эта смесь набрызгивается с помощью воздушной струи на обрабатываемую поверхность слоями: каждый последующий слой наносится после того, как затвердеет предыдущий, общая толщина всех слоев составляет 8-10 см. Перед нанесением торкрет-бетона производится удаление мелких плохозакрепленных обломков и пыли. Торкрет-бетон можно использовать в сочетании с проволочной сеткой и анкерными балками [11]. Следует обратить внимание на то, что на склонах и откосах, покрытых торкрет-бетоном, необходимо делать дренажные отверстия для стока воды, которая инфильтруется во время дождей. Эти отверстия обычно делаются после затвердения бетона.

Вторая группа мероприятий - защищающие от оползней и селей

Мероприятия второй группы предусматривают защиту территории, хозяйственных объектов от селей и оползней, которые уже находятся в движении. Это инженерные сооружения, которые защищают хозяйственные объекты от непосредственного воздействия на них селей и оползней. К этой группе, в основном, относятся противоселевые сооружения; такого характера противооползневых сооружений очень мало, к ним можно отнести мосты через оползни-потоки и оползнеобтекаемые сваи.

Противоселевые сооружения этой группы могут быть подразделены на два класса:

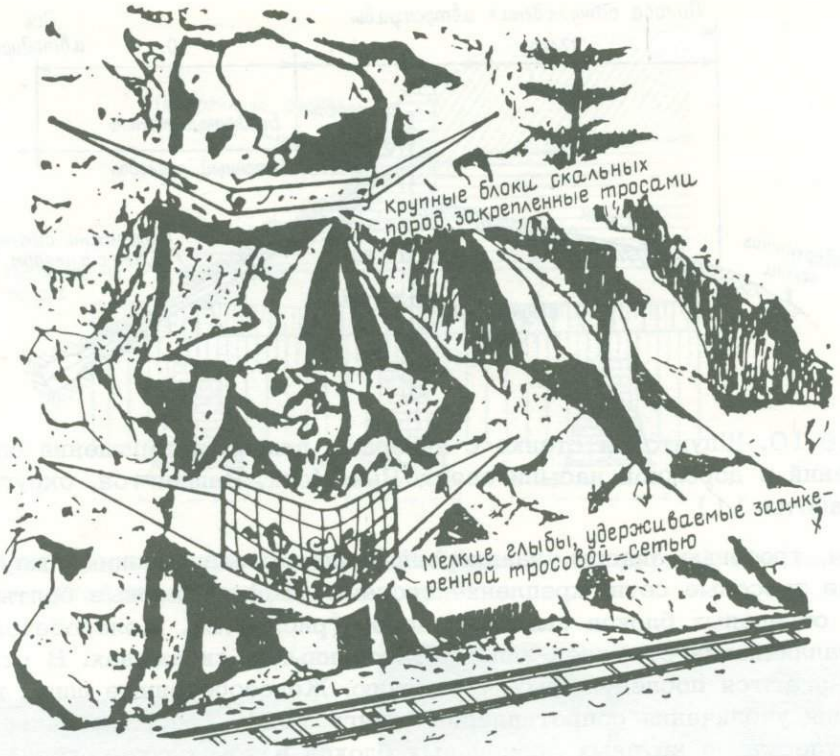


Рис.18.11. Заанкеренные тросы и тросовые сети (из работы 11)

русловые гидротехнические сооружения и сооружения, обеспечивающие пропуск селевых потоков. Русловые гидротехнические противоселевые сооружения по своему действию могут быть селезадерживающими и селеотводящими. Селезадерживающие сооружения также можно разделить на: сооружения мгновенно останавливающие селевой поток; сооружения, обеспечивающие постепенное затухание селевого потока. К первому типу противоселевых сооружений относятся селезадерживающие плотины и глубинные наносоуловители. Селезадерживающие плотины бывают сплошные (глухие) и сквозные. Сплошные плотины бывают насыпные (каменно-набросные) и бетонные. Высота плотины зависит от морфологии долины выше ее створа. Створ плотины по возможности должен выбираться таким образом, чтобы при меньшей высоте плотины обеспечивался наибольший объем селехранилища.

Сплошные плотины обычно рассчитываются на задержание нескольких селей. Например, плотина в долине р.Алматинки выше катка Медео, предназначенная для защиты г.Алма-Ата (СССР), рассчитана на задержание трех катастрофических селевых потоков, по мощности равных селевому потоку 1973 г. Плотина сооружалась при помощи двух взрывов. В 1966 г. был произведен взрыв на левом борту плотины, а в 1967 г. - на правом. К моменту прохождения селевого потока 1973 г. высота плотины была 110 м, емкость селехранилища - 6,2 млн.м^3. Селевой грязекаменный поток с максимальным расходом 3000-5000 м^3/с был остановлен этой плотиной. Объем выноса селевого потока 1973 г. составил 5,5 млн.м^3, в том числе 4 млн.м^3 наносов.

После прохождения катастрофического селевого потока в 1973 г. было решено емкость селехранилища увеличить до 12,6 млн.м^3. В настоящее время плотина имеет следующие размеры: длина по гребню 530 м; ширина по основанию - 800 м; высота 150 м; объем плотины 8,5 млн.м^3, в том числе взрывным способом уложено 2,5 млн.м^3

Плотина в долине р.Малой Алматинки - это одно из самых крупных селезадерживающих сооружений в мире, еще не полностью достроенная, выдержала испытание и защитила столицу Казахской ССР - г.Алма-Ату в 1973 г. от катастрофического селевого потока.

Сквозные русловые сооружения на горных реках применялись еще в древнем Риме на р.Тибр [10]. Первые конструкции наклонных решетчатых селеуловителей были пред-

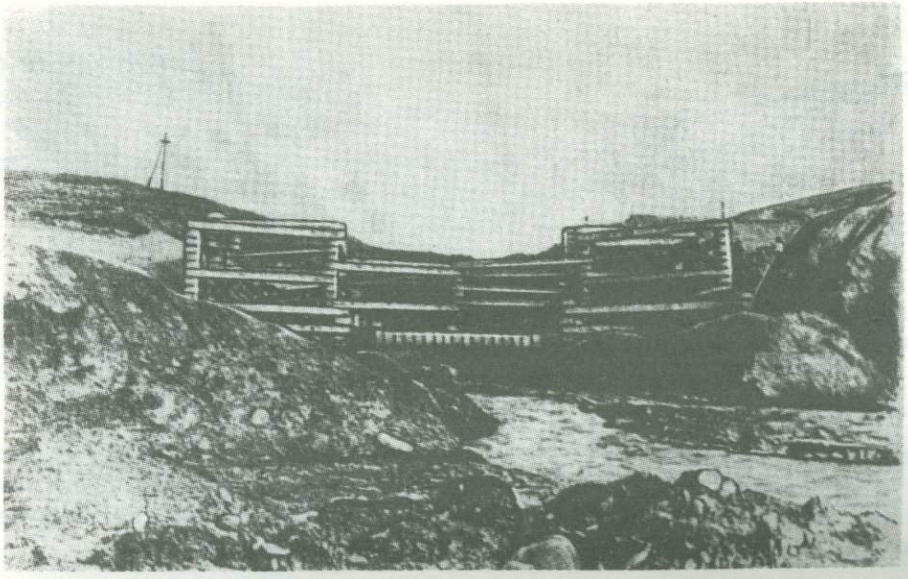


Рис.18.12. Сквозной селеуловитель конструкции ЗапНИГМИ (И.И.Херхеулидзе)

ложены француженками Иветтой и Моникой Жене [10]. Созданные этими исследователями конструкции состоят из плоских наклонных решеток, образуемых горизонтально и параллельно расположенными балками (рельсами) или стержнями. Решеткам придается наклон по течению или против течения. М.С.Гагошидзе и И.И.Херхеулидзе (Грузинский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации) предложили ряд конструкций наклонных и наклонно-ступенчатых сквозных селеуловителей, представляющих собой решетки из железобетонных элементов. Плотины этих конструкций могут достигать высоты 30-50 м [10]. Их недостатками являются большое количество типоразмеров, значительный вес отдельных элементов, а также применение монтажных стыков на сварных металлических закладных частях. Казахским отделением Гидропроекта на р.Малой Алматинке применена разновидность вышеописанных сквозных селеуловителей в виде наклонных селеуловителей из металла на специальной гибкой амортизационной основе (металлические конструкции, анкерованные тросами, которые прикреплены к бетонным береговым массивам). Однако эти сооружения для таких катастрофических селей, как сель 1973 г., оказались неэффективными, так как были мгновенно снесены первой селевой волной.

Для защиты от сравнительно небольших селевых потоков, проходящих по р.Черкас-Сай (г.Текели, Казахская ССР), применены плоские селеулавливающие решетки из горизонтально расположенных металлических тросов, соединенных с металлическими стойками, забитыми в русло через 0,5 м. Эти решетки, несмотря на большие просветы, задерживали крупнообломочный материал, но из-за плохой заделки стоек в русло эти сооружения оказались недолговечными [10]. И.И.Херхеулидзе [10] в Закавказском научно-исследовательском метеорологическом институте разработал конструкции сквозных селеуловителей из сборного железобетона, подготовлены принципиальные схемы, найдены генеральные размеры и общие компоновочные решения для пяти типов сквозных сооружений. На рис.18.12 приведен общий вид одного из типов таких сооружений. Для пропуска паводков вод в этих сооружениях предусматривается специальное устройство

Основное преимущество всех сквозных селеуловителей перед сплошными (глухими) плотинами заключается в том, что они пропускают жидкую составляющую и мелкозернистый материал и задерживают крупнообломочный материал. При сооружении сквозных селеуловителей особое внимание следует обращать на организацию водосбора в нижнем бьефе во избежание разрушения всего сооружения.

К типу сооружений, обеспечивающих постепенное затухание селевого потока, относится система барражей, возводимых выше защищаемых сооружений. Расстояние между отдельными запрудами определяется из соотношения их высоты и остаточного уклона селевых отложений. Русло речек заключается в бетонный лоток. При прохождении селево-

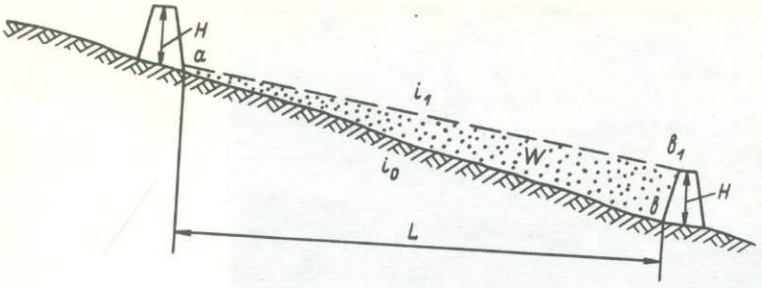


Рис.18.13. Аккумуляционная емкость в межзапрудной пазухе (по С.М.Флейшману)

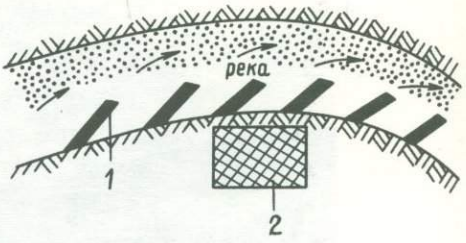


Рис.18.14. Схема размещения полузапруд: 1 – полузапруды; 2 – защищаемый объект (по С.М.Флейшману)

го потока твердый материал разгружается в пазухи между запрудами, при заполнении пазух уклоны уменьшаются до критических, при которых селевой поток разрушается. На рис.18.13 приведена схема аккумуляции наносов в пазухах между запрудами по Флейшману. Объем наносов в пазухах подсчитывается по формуле:

$$W_3 = \beta \frac{H_3 l}{2}, \qquad (18.1)$$

где H_3 – высота запруды, β – ширина русла лотка, l – расстояние между запрудами.

После прохождения селевого потока пазухи можно очищать от наносов. Глубинные наносоуловители представляют собой котлованы, вырытые на дне долины селеопасной реки и предназначенные для перехвата селевых отложений. Размеры котлована рассчитываются на объем ожидаемого селевого потока. После заполнения котлована селевыми отложениями производится его чистка. Несмотря на кажущуюся простоту, глубинные наносоуловители не получили широкого распространения из-за трудоемкости их содержания, особенно если дно долины сложено крупнообломочными отложениями [14].

Селеотводящие сооружения предназначены для отвода или изменения направления движения селевых потоков. К ним относятся селеотбойные стенки селевых лотков, которые предотвращают растекание селей, селенаправляющие лотки, полузапруды, отклоняющие селевые потоки от берега, на котором находятся защищаемые объекты (рис.18.14) и другие сооружения. К сооружениям, обеспечивающим пропуск селевых потоков, относятся селеспуски, мосты и селепропускные лотки. Эти сооружения предназначены для пересечения разного рода коммуникаций (автомобильные и железные дороги, трубопроводы, каналы) с селеносными водотоками. Тип сооружений определяется в основном характером рельефа. Наиболее удобным и распространенным видом сооружений, обеспечивающих пересечение селевых водотоков, являются мосты (рис.18.15). Мосты следует делать однопролетными и мостовые опоры по возможности надо закладывать таким образом, чтобы не стеснять проход селевых потоков. На участках прижимов к крутым склонам наиболее рациональным оказывается селевые потоки пропускать по специальным лоткам, сооруженным над дорогой или другими видами коммуникаций (рис.18.16). При этом, во избежание загромождения селеспусков, продольный уклон их должен быть не менее 8–15°, а сопряжение лотка с руслом необходимо делать плавным.

Многолетняя эксплуатация селеспусков на автомобильных и железных дорогах в СССР показала их большую эффективность. В том случае, если селеспуски построены технически грамотно, они работают безотказно.

Пропуск селевых потоков через населенные пункты принято осуществлять по канализированным руслам (рис.18.17). В этом случае продольные уклоны должны быть такими, чтобы не происходило образование заторов (8–15°). При пересечении малых водотоков автомобильными дорогами на уровне верхней части конуса выноса, где русло водотока выражено очень слабо при сравнительно малой интенсивности движения, переходы через эти водотоки создаются путем бетонирования русла и расчистки его после прохождения селевых потоков. Если правильно выбрано место перехода и правильно заданы уклоны, то такие переходы заносятся незначительно. Отложившийся во время селя материал легко расчищается бульдозером. Следует иметь в виду, что в этом слу-

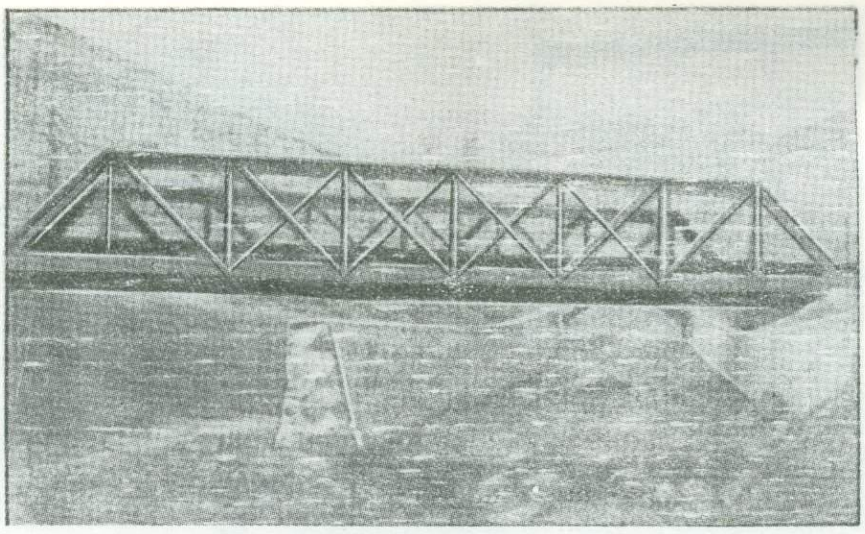


Рис.18.15. Железнодорожный мост через селеносный водоток (фото - Н.М.Королькова)

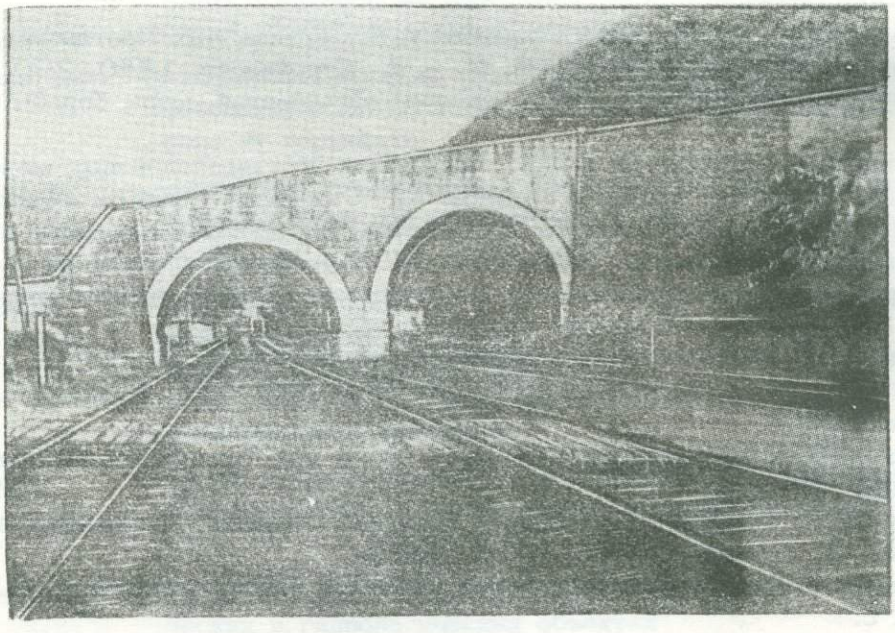


Рис.18.16. Селеспуск над железной дорогой (фото Э.С.Авалиани)

чае есть опасность, хотя и малой вероятности что селевой поток застигнет автомобиль на селевом переходе. Подобные случаи имели место во многих странах.

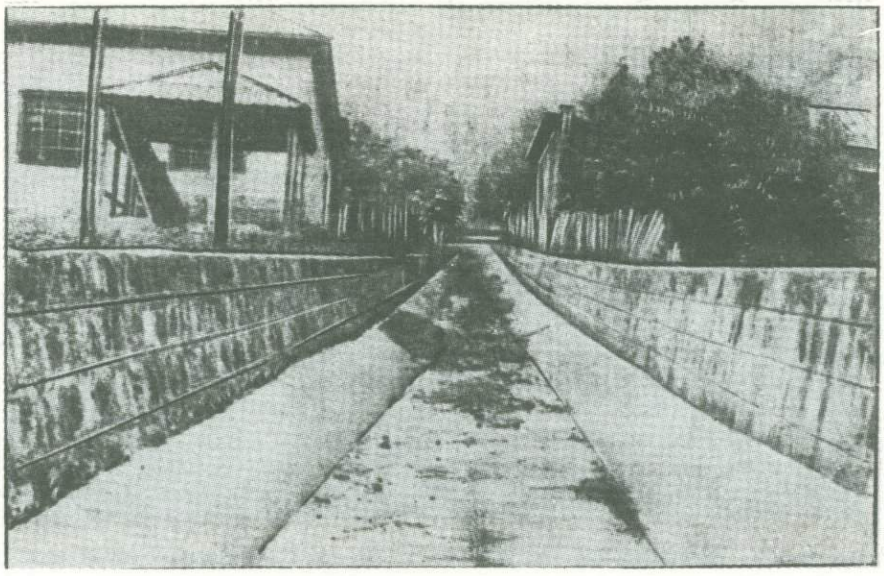


Рис.18.17. Лоток для пропуска селевых потоков по населенному пункту (фото Э.С.Авалиани)

Литература

1. Абрамов С.К., Глазов Н.В., Романов А.В., Трупак Н.Г. Противооползневые сооружения. Исследования и проектирования. М. – Л.: Стройиздат, 1940, 200 с.

2. Дранников А.М. Оползни. Типы, причины образования, меры борьбы. Киев, 1956, 102 с.

3. Инженерно-геологический анализ применения противооползневых мероприятий на Черноморском побережье Крыма и Кавказа. М.: Стройиздат, 1976, 234 с.

4. Инструкция по проектированию и строительству противооползневых и противообвальных защитных сооружений СН 519-79. М.: Стройиздат, 1981, 24 с.

5. Инструкция по проектированию и строительству противоселевых защитных сооружений. СН 518-79. М.: 1981, 14 с.

6. Клевцов И.А. Закрепление пластических оползней растительностью и изоляцией из шлакоглинобетона. Информационное письмо № 224 ВНИИ ж.-д. транспорта. М., Трансжелдориздат, 1952.

7. Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Недра, 1978, 264 с.

8. Маслов Н.Н. Условия устойчивости склонов и откосов в гидроэнергетическом строительстве. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1955, 468 с.

9. Меншиков В.Л., Пешков В.М. Берег Пицунды: факты и гипотезы. М.: Мысль, 1980, 112 с.

10. Методическое руководство по комплексному изучению селей. Ред. М.В.Чуринов и А.И.Шеко. М., Недра, 1971, 164 с.

11. Оползни. Исследование и укрепление. Ред. Р.Шустер и Р.Кризик. М.: Мир, 1981, 368 с.

12. Пирс А.Дж. Местность с массовым сдвижением горных пород в восточной части полуострова Раукумора в Новой Зеландии. Литологические и структурно-тектонические факторы и последствия сведения и восстановления лесов. "Оползни и сели". Сборник докл. Междунар. семинара в Алма-Ате, октябрь, 1981. Ред. А.И.Шеко. Центр Междунар. проектов. ГКНТ СССР, М.: 1982, с.227-242.

13. Терцаги К. и Пек, Р. Механика грунтов в инженерной практике. М.: Госиздат по строительству, архитектуре и строительным материалам. 1958, 608 с.

14. Флейшман С.М. Сели. Л.: Гидрометеоиздат, 1970, 352 с.

15. Шеко А.И. Инженерно-геологическое районирование территории окрестностей г.Гурзуфа для целей курортного строительства. "Вопросы гидрогеологии и инж. геологии". М.: 1958, с.79-86

ГЛОССАРИЙ

Абразия	– процесс, способствующий разрушению горных пород, слагающих берега, и стремящийся к изменению их очертаний под воздействием моря
Активизация деформаций	– возрастание скорости (ускорение) смещения
Активная зона	– интервал аномального временного непостоянства состояния и свойств горных пород, а также характеристик естественных и искусственных физических полей (противоположность – пассивная зона)
Активность проявления оползней и селей	– величина изменения геологической среды в результате развития оползней и селей за определенный промежуток времени. Характеризуется количеством активизировавшихся образовавшихся оползней, их площадью, величиной смещения; количеством и объемами селевых потоков
Аэрофотосъемка перспективная	– вид аэрофотосъемок, при котором направление оптической оси фотокамеры значительно (обычно на десятки градусов) отклонено от вертикали
Временная зона	– территория с одинаковым многолетним режимом независимых быстроизменяющихся факторов, а также, соответственно, оползневых или селевых процессов
Временные ряды оползней и селей	– последовательные числовые значения, характеризующие изменения состояний элементов (компонентов) системы ЭГП во времени. Различаются временные ряды, характеризующие развитие оползней и селей, активность их проявления, а также ряды факторов процессов
Время добегания	– время переноса частиц воды и индикатора русловыми и подземными потоками в предположении условий поршневого вытеснения
Время пребывания	– время нахождения частиц воды и индикатора в гидрогеологических и гидрологических объектах
Высота фотографирования	– превышение центра проекции снимка над местностью, являющейся объектом фотографирования или над какой-либо частью этой местности
Гамма-гамма-каротаж	– изучение плотности пород при помощи рассеянного гамма-излучения
Гамма-каротаж	– изучение распределения естественной гамма-радиоактивности пород вдоль скважины
Генеральные схемы защиты территорий	– предварительные наметки, определяющие общую методику и объемы работ по борьбе с вредным воздействием экзогенных геологических процессов в крупном административном районе (республика, область)
Геодезическая подготовка участка съемки	– определение геодезическими методами координат, опознанных на аэрофотоснимках точек местности и используемых в дальнейшем в качестве опорных при построении по снимкам геометрической модели

Геометрическая модель – в данном случае под этим термином понимается совокупность точек, координаты которых определены путем фотограмметрической обработки снимков. Поверхность образуется этой совокупностью, подобно поверхности объекта фотографирования

Глубинные деформации – деформации по поверхностям скольжения оползня

Глубинный репер – устройство для определения деформаций по поверхности скольжения оползня

Градация оценочной шкалы – интервал значений оценок степени подверженности, имеющий одну и ту же качественную характеристику

Гребень межоползневой – часть склона, не подверженная смещениям, расположенная между боковыми границами

Грунтовый массив – грунты в естественном залегании

Детальная схема – схема защиты территории и объектов на стадии составления генеральных планов городов и крупных промышленных узлов

Дешифровочные признаки – особенности фотоизображения внешних компонентов ландшафта и индикаторов. К ним относятся: тон, цвет, яркость и контраст, форма, размеры, рисунок изображения

Дифференциальный способ измерения смещений по снимкам – в основе этого способа – сравнение двух разновременных снимков, центры проекций которых совмещены. Смещение точек объекта определяется по разности положения их изображений на двух или более снимках (параллаксы смещения)

Естественная радиоактивность – радиоактивность горных пород, вызванная наличием в их составе естественных радиоактивных изотопов (калия, урана, тория и др.)

Естественные изотопы – изотопы элементов окружающей среды естественного происхождения

Жидкая составляющая селей – вода, находящаяся в селевом потоке

Зона затухания или разгрузки селевого потока – часть долины, где происходит аккумуляция селевых отложений

Зона оползневых смещений – наиболее деформируемая нижняя часть тела оползня, расположенная на границе с несмещенными породами

Зона ослабления – горизонт с меньшими, чем в окружающих породах, характеристиками прочностных свойств

Зона трещин закола – зона, в пределах которой со временем под действием оползневого процесса отторгнется очередной блок пород

Зона формирования селей – часть бассейна, где расположены основные очаги зарождения селей

Индикаторы геофизические – вещества, вводимые в исследуемый поток (водный, селевой и т.д.) с целью изучения его характеристик. В качестве индикаторов используют электролиты, красящие и флуоресцентные вещества, стабильные и радиоактивные изотопы

Индикаторы ландшафтные – отдельные физиономические легко наблюдаемые компоненты ландшафта или природно-территориальные комплексы, обусловленные характером формирования и особенностями проявления оползневых и селевых процессов и используемые для их выявления и изучения

Индикаты или объекты индикации – труднонаблюдаемые особенности геологической среды и протекающие в ней процессы, которые определяются с помощью индикаторов при дешифровании аэрокосмических снимков или наземных исследованиях

Индикационное дешифрирование – дешифрирование материалов аэрокосмической съемки, основанное на использовании связи индикаторов и индикатов

Инженерно-геологическая съемка – работы, включающие комплекс полевых, лабораторных и камеральных исследований, выполняемые с целью оценки инженерно-геологических условий территории

Инженерно-геологические изыскания – работы, включающие комплекс полевых, лабораторных и камеральных исследований, выполняемые с целью оценки инженерно-геологических условий территории для конкретного строительства

Инженерно-геологический элемент – объем пород, в пределах которого их характеристики изменяются незакономерно, что позволяет производить их статистическую обработку с определением нормативных значений

Инженерно-геологическое обследование – работы, включающие маршрутные (полевые) и камеральные исследования, выполняемые с целью инженерно-геологической оценки территории

Интенсивность проявления оползней и селей – пораженность территории оползнями и селями. Характеризуется соответствующими коэффициентами пораженности – отношением площади, занятой оползнями, к общей площади участка и отношением суммарной длины селевых водотоков, к суммарной длине всех водотоков бассейна

Искусственные изотопы – изотопы элементов, поставляемых в окружающую среду в результате деятельности человека

Каротаж – исследование физических свойств горных пород и состояния скважин, при помощи специальных зондов (датчиков), спускаемых в скважины

Клиф – береговой обрыв

Корректирование модели – исправление деформации геометрической модели, построенной по стереопаре снимков. Обычно производится путем введения поправок в элементы ориентирования снимков

Косвенные убытки – все убытки, обусловленные прямым ущербом. Например, простой предприятий за счет перерыва в транспорте, вызванного разрушением дорог геологическими процессами

Коэффициент анизотропии – величина, характеризующая степень зависимости физических свойств горных пород от направления измерения

Критическая отмостка – отмостка, состоящая из самых крупных обломков, после срыва которой уже больше в русле отмостки не образуется

Крупнообломочные породы – породы, содержащие в своем составе большое количество частиц размером более 2 мм. Различаются связные и несвязные крупнообломочные породы. В связных крупнообломочных породах отдельные обломки связаны посредством глинистого или песчано-глинистого материала

Ландшафтно-генетический ряд – такой ряд природно-территориальных комплексов, в котором последние располагаются друг за другом в такой последовательности, в какой они сменяются во времени в ходе развития какого-либо процесса и используются для определения его различных стадий

Локальное изучение экзогенных геологических процессов (оползней, селей) – работы, включающие комплекс методов исследования, выполняемые с целью характеристики развития процесса на отдельном участке или разработки локального прогноза

Методика – совокупность способов, методов и приемов для систематического последовательного, наиболее целесообразного проведения работ

Многозональная (многоспектральная) съемка – съемка, выполненная многокамерными фотографическими аппаратами с различными колебаниями фотопленок, фильтров с получением изображений объектов одновременно в различных зонах видимой и ближней части инфракрасного спектра

Модель диффузионного перемещения – модель движения подземных вод и индикаторов, учитывающая гидродинамическую дисперсию и диффузию

Модель полного перемешивания – модель движения подземных вод и индикаторов, предполагающая полное и мгновенное перемешивание воды и индикатора

Модель поршневого вытеснения – модель движения подземных вод и индикаторов, пренебрегающая смешением, гидродинамической дисперсией и молекулярной диффузией

Мониторинг экзогенных геологических процессов – информационная система, включающая изучение режима и прогноз экзогенных геологических процессов и выдачу информации о возможности их проявления

Морфоэлемент оползневого склона – четко выделяющаяся часть поверхности оползневого склона

Нейтронный каротаж – изучение влажности, водородосодержания горных пород при помощи рассеяния и замедления быстрых нейтронов

Оползень – смещение части горных пород при сохранении контакта с неподвижным основанием на более низкий гипсометрический уровень

Оползневая зона или зона формирования оползня – часть геологической среды, в которой проявляются оползневые деформации

Оползневая ступень – часть склона, состоящая из горизонтальной или слабо наклонной площадки и примыкающего к ней снизу более крутого откоса

Оползневая съемка – работы, включающие комплексное изучение геологических, геоморфологических, гидрогеологических, геоботанических условий и характера оползневых деформаций с целью оценки устойчивости склонов и обоснования противооползневых мероприятий

Оползневой блок – часть тела оползня, сохранившая относительную целостность при его движении

Оползневой склон – естественный склон или искусственный откос, на котором развиваются оползневые деформации

Оползневой участок – территория, в пределах которой производится изучение оползневого процесса

Оползнеопасный и селеопасный сезоны – периоды наиболее вероятного проявления оползней или селей внутри года, под которыми понимается время (один-два месяца), характеризующееся наибольшей вероятностью их проявления

Осадкообразующие ЭЦМ – элементарные циркуляционные механизмы (ЭЦМ), вероятность выпадения осадков при которых не менее 60%

Отмостка – обломки породы, выстилающие русло водного потока

Парагенетический комплекс процессов – группа взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов, развивающихся в виде естественной ассоциации

Перекрывающая толща пород – толща пород, залегающих выше горизонта, в котором формируется поверхность смещения

Погода – непрерывно меняющееся состояние атмосферы, которое в данном месте и в данный момент характеризуется совокупностью значений метеорологических элементов, а за некоторый промежуток времени – последовательными изменениями этих элементов или их средних значений за этот промежуток

Поверхность скольжения – поверхность, отделяющая смещаемые массы от неподвижных (устойчивых) пород и по которой происходит перемещение оползня

Полный оползневой цикл – совокупность последовательно проявляющихся стадий и фаз оползневого процесса

Поперечный профиль – линия наблюдений, секущая центральный створ под углом, близким к прямому

Пораженность территории экзогенными геологическими процессами – отношение площади (длины) форм проявления данного процесса, к площади всего участка. Характеризуется коэффициентом пораженности

Правила предпочтения – совокупность соотношений между значениями факторов, характеризующих два участка, позволяющие при их сравнении определить какой из них в большей (меньшей) степени подвержен данному ЭГП

Прибровочная часть плато – часть плато, примыкающая к склону, обрыву, уступу

Природно-территориальный комплекс – безранговое понятие, обозначающее природную или частично измененную человеком систему основных главнейших компонентов природы любого масштаба

Прямые убытки – стоимость уничтоженных и приведенных в негодность материальных ценностей в ходе проявления оползней, селей и других экзогенных геологических процессов

Радиоизотопные измерения – измерения, основанные на использовании искусственных и естественных радиоактивных изотопов и излучений и их особенностей взаимодействия с материалом изучаемой среды (породы, подземные воды и т.д.)

Разбавления метод – метод, основанный на определении степени разбавления индикатора, вводимого в измерительный объем скважины, с целью определения скорости фильтрации

Региональная схема защиты территории – предварительные наметки защитных мероприятий от экзогенных геологических процессов в физико-географическом или инженерно-геологическом регионе

Региональное изучение оползней, селей – работы, включающие комплекс методов исследования, выполняемые с целью характеристики пространственной изменчивости развития процессов или их регионального прогноза

Регрессивная фаза – часть цикла (ритма) в течение которой происходит снижение параметров, характеризующих активизацию оползня

Режимные наблюдения – наблюдения в одних и тех же пунктах по определенной методике, повторяющиеся через выбранные интервалы времени

Режим оползней и селей – характер изменения активности проявления оползней и селей во времени. Рассматривается по отношению ко времени и пространству (охватываемой площади). Соответственно выделяются многолетний и внутригодовой, региональный, субрегиональный, локальный и элементарный режимы

Режим реализаций моделей – способ осуществления последовательности операций по построению модели на ЭВМ, предусматривающий ту или иную степень участия инженера-геолога

Роза изодинам магнитного поля – характеристика направлений изодинам магнитного поля, полученная путем статистической обработки данных наблюдений по очень густой сети пунктов (по информации аналогичная розе трещиноватости пород)

Селевая съемка – работы, включающие комплекс методов инженерно-геологического изучения территории, выполняемые с целью оценки ее селеопасности и обоснования противоселевых мероприятий

Селевой или селеносный бассейн – бассейн водотока, в котором формируются селевые потоки

Селевой очаг – участок долины водотока, где происходит первоначальное зарождение селевого потока

Симптомы (индикаторы) фазовых состояний оползня – явления, количественные значения измеряемых инженерно-геологических и геофизических параметров или их изменения, соответствующие определенной степени (фазе) развития оползня

Система – совокупность элементов (компонентов), связанных между собой определенными отношениями

Системный подход – методология научных исследований, которая рассматривает объект как систему, состоящую из элементов, имеющих определенную организацию

Скрытый период – период, когда визуально не наблюдается развития оползневых деформаций

Специальная схема защиты – схема, которая предусматривает защиту хозяйственного объекта (железной дороги и др.) от всех геологических процессов или защиту от одного, наиболее опасного для данной территории геологического процесса

Стабильный участок – участок склона, на котором отсутствуют оползневые деформации

Стадия основного смещения – часть полного оползневого цикла, с момента начала фазы прогрессирующей ползучести и до разрушающих деформаций

Стадия подготовки оползня – часть полного оползневого цикла, в течение которой проявляются затухающие и незатухающие оползневые деформации до момента их перехода в фазу прогрессирующей ползучести

Стенка срыва оползня – обнажившаяся верхняя часть поверхности скольжения оползня

Стереофотосъемка – фотографирование объекта из двух или более точек так, чтобы перекрывающиеся снимки образовывали между собой стереопары. Расстояние между точками съемки является базисом фотографирования. В зависимости от условий и цели, съемка может быть воздушная, наземная, с судна, конвергентная, параллельная

Твердая составляющая селей – весь твердый минеральный и органический материал, транспортируемый селевыми потоками

Тело оползня – смещающийся оползневой массив пород

Типизация атмосферной циркуляции – расчленение системы движения атмосферного воздуха на элементарные циркуляционные механизмы (ЭЦМ)

Транзитная зона – часть бассейна, где происходит движение уже сформировавшегося селевого потока без существенных изменений

Трансгрессивная фаза – часть цикла (ритма), в течение которой происходит нарастание параметров, характеризующих активизацию оползней

Трещина закола – оползневая трещина, образовавшаяся выше существующей верхней границы оползня

Универсальные фотограмметрические приборы – приборы для комплексной обработки стереопар снимков, имеющей целью построения геометрической модели отснятого объекта. Включают в себя устройства для измерения, математической обработки и графических построений

Условия развития оползней и селей – см. факторы оползней и селей

Факторы оползней и селей – среда и условия развития, в которых протекают процессы; любые обстоятельства, влияющие на формирование и развитие селей. По отношению ко времени выделяются постоянные, медленноизменяющиеся и быстроизменяющиеся факторы. По взаимообусловленности выделяются независимые и производные факторы
Синоним – условия, развития оползней и селей

Центральный створ – линия наблюдений, расположенная в центральной части оползня, вдоль его оси (синоним – осевой профиль)

Цикл наблюдений – совокупность наблюдений, отделенных от других аналогичных совокупностей выбранными интервалами времени

Циркуляционные эпохи – (по Б.Л.Дзердзеевскому) – период, длительностью около 40 лет, характеризующийся превышением над нормой либо зональных, либо меридиональных типов циркуляции (ЭЦМ) в северном полушарии

Экзогенные геологические процессы (ЭГП) – геологические процессы, протекающие на поверхности Земли или в приповерхностной части земной коры (оползни, сели, эрозия, абразия, карст и другие)

Элементарный циркуляционный механизм (ЭЦМ) – (по Б.Л.Дзердзеевскому) – система воздушных течений, характерная для общей циркуляции атмосферы в северном полушарии на протяжении некоторого промежутка времени (в среднем 4–6 суток) и обеспечивающая в этот промежуток воздухообмен и теплообмен на полушарии. Всего выделено 13 типов, 41 подтип ЭЦМ

Ядерный каротаж – все виды каротажа, использующие ядерные излучения и их источники

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абразия – 65
Активизация экзогенных геологических процессов – 222, 225, 240
Активность проявления экзогенных геологических процессов – 131, 221, 222, 228, 239, 240, 244, 250, 471
Аналитические карты факторов – 477
Аэро- и космофотосъемка – 327, 328, 350
Аэрофотосъемка перспективная – 353
Буровые работы (бурение скважин) – 216, 218, 225
Влагоплотномер – 403
Временная зона – 245
Временные ряды – 294
  – классификация – 294
  – оползней и селей – 294, 297
  – факторов – 294
Время добегания – 410, 411
  – пребывания – 424
Гамма-каротаж – 398
Геодезическая подготовка участка – 353
Геофизические методы – 216
  – гравиразведка – 368-369, 371-395
  – магниторазведка – 369-395
  – сейсмоакустические – 365-366, 371-395
  – электроразведка – 367-368, 371-395
Гидростатический нивелир – 279
Горно-проходческие работы – 216
Дешифровочные признаки – 334
Дифференциальный способ измерения смещений – 358
Дождевание склонов – 569
Естественная радиоактивность – 398
Зарождение селей оползневое – 191
  – эрозионное – 183
Защита от оползней и селей: – 596
  мероприятия – 597, 616-622
    – организационно-хозяйственные – 598-603
    – мелиоративные и агротехнические – 603-608
    – инженерные – 608-616
  схемы защиты – 589
    – генеральные – 588, 591
    – детальные – 588, 595
    – региональные – 588, 595
    – специальные – 588, 594
Зона трещин закола – 381
Зондирование – 219
Изотопы естественные – 398, 400
  – искусственные – 398
Индикаторные определения инфильтрационного питания – 422
  – коэффициента фильтрации – 410
  – направления движения подземных вод – 409
  – скорости подземных вод – 409-411

Индикаторы ландшафтные – 333
Индикаты – 335
Индикационное дешифрирование – 333
Инженерно-геологическая разведка – 253
– съемка – 216, 218, 223
Инженерно-геологические изыскания – 237
Инженерно-геологическое картирование – 219
– обследование – 216
– опробование – 216
Интегральные кривые аномалий – 303
Интенсивность проявления экзогенных геологических процессов – 124, 133, 149, 471
Испытания для определения ползучести пород – 439, 448
– постоянными нагрузками – 441
– при ступенчатом нагружении – 440
– возрастающими нагрузками – 449
Испытания для определения предела прочности пород: – 431, 447
– вращательный срез – 435
– выпирание призм – 449
– обрушение целиков – 450
– одноосные – 433, 437
– одноплоскостной сдвиг – 433
– прессиометрия – 435
– раздавливание целиков – 449
– сжатие-растяжение – 434, 437
– трехосные – 432, 434
Кадастр оползней – 229
Карта инженерно-геологических условий – 217, 232
– районирования – 227, 233
Кинематика оползня – 257
Клинометр – 281
Клиф – 65
Ключевой участок – 216, 218, 236, 238
Концентрация твердой фазы (составляющей) – 186
Корректирование модели – 360
Космоаэрофотоснимки – 216, 217, 220
Коэффициент анизотропии – 373, 390-392
– пораженности территории экзогенными геологическими процессами – 473
– упаковки – 188
– упаковки приведенный – 187
Ландшафтно-генетический ряд – 335
Ландшафтно-индикационные методы – 216
Ландшафтный индикатор – 217, 218
Ливневые осадки – 55
Лихенометрические исследования – 218
Локальные исследования (изучение, работа) – 236, 242
Месдоза – 253, 287
Метод индикаторов – 398, 399
– космических лучей – 413
– разбавления – 409
Методы моделирования экзогенных геологических процессов – 476
– аналогий – 476
– конечных элементов – 540
– натурного моделирования – 564
– пористости – 408
– стереотензометрический – 560

- тензометрической сетки - 559
- фотоупругости - 558
- центробежного моделирования - 561
- частичной разгрузки - 258, 287, 289
- эквивалентных материалов - 561
- электрогидродинамических аналогий - 560
Микронивелир - 282
Многоспектральная (многозональная) съемка - 328, 332
Модель геометрическая - 353
- диффузионного перемешивания - 423
- полного перемешивания - 423
- поршневого вытеснения - 423
Мониторинг - 31
Морфологическая характеристика - 221
Морфометрические показатели (характеристики) - 219, 221
Наблюдательные участки первой категории - 246
- второй категории - 248
- третьей категории - 249
Наземная фотограмметрия - 356
Наклономер - 257, 281
- маятниковый - 281
Напряженное состояние - 258
Оползни - 108
- выдавливания (сдвига) - 109-113, 116-120, 127, 140, 142, 148, 536
- выплывания - 109, 111, 120, 121, 126, 142, 148
- инсеквентные - 114, 115
- консеквентные - 109, 114, 115
- проседания - 109, 110, 122, 123, 148
- разжижения - 109, 110, 123-126, 140, 148
- сдвига - 109-113
- скольжения - 109-111, 113-116, 127, 148
- течения - 139, 142, 148
Оползневая зона - 108, 128, 138, 139
Оползневая съемка - 238
Оползневой потенциал - 483
Оползневой процесс - 107-111, 128, 135-144
Оползневой склон - 145-147, 150
- многоярусный - 118, 146, 147
- одноярусный - 118, 146, 147
Оползневой участок - 119
Оползневые подвижки - 276
- трещины - 239, 240
Опорная сеть - 246
Опорный стационар - 252
Осадкообразующие ЭЦМ - 62, 63
Основной деформирующийся горизонт (ОДГ) - 111-113, 117-121, 125, 126, 142
Отмостка - 186, 574
- критическая - 187
Оценочная функция - 483
Параллакс поперечный - 362
- продольный - 356
- смещения - 358

Параметры морфологические – 252
Показатель поверхностного стока – 176
– инфильтрации – 176
Полный оползневой цикл – 135-141
Пораженность территории экзогенными геологическими процессами – 471
Поровое давление – 258, 287
Породы – 38, 442
– дисперсные – 38, 39
– крупнообломочные – 41, 571
– осадочные – 38
– связные – 39, 40
– скальные – 38
Поперечный профиль – 393
Признаковое пространство – 488
Природно-территориальный комплекс – 335
Прогноз – 216, 219, 229
Прогнозное инженерно-геологическое районирование – 458
Прогноз оползней и селей – 458
– временной – 458
– глобальный – 458
– долговременный – 458
– долгосрочный – 458
– краткосрочный – 522
– локальный – 458
– пространственный – 458
– региональный – 458
Радиоактивные индикаторы – 408
Радиоактивный каротаж – 398, 399, 404
Радиоизотопные измерения влажности – 402, 406, 416
– инфильтрации – 418
– плотности – 402, 406, 416
Региональное изучение (исследования, работы) – 216, 222, 223, 225, 229, 230, 236
Режим процессов – 244
– внутригодовой – 244
– локальный – 244
– многолетний – 244
– региональный – 245
– субрегиональный – 245
– элементарный – 244
Репер глубинный инклинометрический – 291
– глубинный тросовый – 286
– глубинный шланговый – 284
– глубинный – электрический фиксатор смещения – 284
– опорный – 276
– ориентирный – 276
Ритм – 136
Роза изодинам магнитного поля – 370, 387
Селевая инженерно-геологическая съемка – 212
Селевой бассейн – 157
– очаг – 157
Сели – 156
Селевые стационары – 262
Системный подход – 28
Составляющая селей – 174
– жидкая – 169
– твердая – 254
Специализированная оползневая съемка

Стадия основного смещения - 114, 140
- подготовки оползня - 140
Стереофотосъемка конвергентная - 359
- параллельная - 359
- с борта судна - 361
Термометрия - 371, 384
Типизация атмосферной циркуляции - 57
Трансгрессивная фаза - 143
Трещиномер - 253, 282
- деформограф - 276
Убытки косвенные - 22
- прямые - 22
Универсальные фотограмметрические приборы - 354
Условия развития оползней и селей - 41, 42, 217, 219
- антропогенная деятельность - 96
- геокриологические - 79
- геологические - 38, 216, 218, 222
- геоморфологические - 41, 48, 54
- гидрогеологические - 70, 232
- гидрологические - 65-69
- климатические - 54, 55
- метеорологические - 37, 54
- почвенные - 74
- растительность - 75
- сейсмичность и землетрясения - 87
- современные тектонические движения - 83
Устойчивость склонов - 216, 220, 240
Ущерб - 217
Уязвимость - 216
Факторы оползней и селей: - 35
- быстроизменяющиеся - 35, 36
- классификация - 35, 36
- медленноизменяющиеся - 35
- независимые - 35
- постоянные - 35
- производные - 35
Физико-механические свойства пород: - 259
- влажность - 431, 444
- гранулометрический состав - 431, 445
- объемная масса - 443
- пористость -
- размокаемость - 430, 442, 446
- размываемость - 446
- сопротивление сдвигу - 432
- сопротивление сжатию - 443
Фитоиндикационные методы: - 263
- дендрохронологические - 270
- лихенометрические - 274
- фитоценотические - 269
Фотограмметрические измерения - 350
Центральный створ - 392
Цикличность - 198, 493, 494, 495
- первого вида - 135, 136, 142
- второго вида (ритмичность) - 136-138, 141
Цикл измерений - 373
Циркуляционные эпохи - 60
Элементарный циркуляционный механизм (ЭЦМ) - 69
Эрозия - 73

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

Предисловие. *Е.А.Козловский* 3
Введение. *А.И.Шеко* 6

ЧАСТЬ I. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ

Глава 1. Факторы формирования и развития оползней и селей. *А.И.Шеко, В.С.Круподеров, И.В.Мальнева, Н.К.Кононова, В.И.Дьяконова, Ю.Г.Баландин* 16
Глава 2. Оползни. *В.В.Кюнтцель* 51
Глава 3. Сели. *А.И.Шеко* 78

ЧАСТЬ II. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ

Глава 4. Общая характеристика инженерно-геологических исследований. *М.М.Максимов* 109
Глава 5. Региональное изучение оползней и селей. *М.М.Максимов* 114
Глава 6. Локальное изучение оползней и селей. *М.М.Максимов* 121
Глава 7. Изучение режима оползневых и селевых процессов. *В.С.Круподеров, Г.П.Постоев, А.М.Лехатинов* 125
Глава 8. Обработка информации о режиме оползней и селей. *В.С.Круподеров, А.М.Лехатинов, А.И.Шеко* 151
Глава 9. Использование аэрокосмических и других фотографических методов при изучении оползней и селей. *А.В.Садов, Р.Н.Гельман* 171
Глава 10. Применение геофизических методов при изучении оползней и селей. *Н.Н.Горяинов, В.С.Матвеев, Н.М.Варламов* 195
Глава 11. Применение ядерно-физических и изотопных методов при изучении оползней и селей. *В.Т.Дубинчук, Н.Д.Корниенко* 210
Глава 12. Изучение физико-механических свойств горных пород. *С.Л.Коренева* 226

ЧАСТЬ III. ПРОГНОЗ ОПОЛЗНЕЙ И СЕЛЕЙ И ЗАЩИТА ОТ НИХ

Глава 13. Классификация прогнозов. *А.И.Шеко* 243
Глава 14. Специальное районирование территории при пространственных прогнозах оползней и селей. *А.И.Шеко, М.Умбер* (Франция), *В.В.Кюнтцель, Г.П.Постоев, А.А.Бондаренко* 246
Глава 15. Временной прогноз проявления оползней и селей. *А.И.Шеко, Н.С.Сергеева* 259
Глава 16. Расчет основных параметров оползней и селей. *В.С.Круподеров, Г.П.Постоев* 285
Глава 17. Моделирование оползневых и селевых процессов. *Г.П.Постоев, В.С.Круподеров* 301
Глава 18. Защита от оползней и селей. *А.И.Шеко* 318
Глоссарий. 339
Предметный указатель. 346

ОПОЛЗНИ И СЕЛИ т. 1, с. 1–352

Технический редактор В.Н. Лопухова Корректор О.А. Перфилова

Сдано в набор 05.07.84 Подписано в печать 21.06.84
Формат 60x84 1/8 Печать офсетная
Усл. печ. л. 40,92 Усл.-кр. отт. 41,42 Уч.-изд. л. 38,23
Тир. 1700 экз. Зак. 5386

Производственно-издательский комбинат ВИНИТИ
140010, Люберцы 10, Московской обл., Октябрьский проспект, 403

2 p

4684