

И.Г. КОРОБАНОВА

ЗАКОНОМЕРНОСТИ
ФОРМИРОВАНИЯ
СВОЙСТВ
ТЕРРИГЕННЫХ
ОТЛОЖЕНИЙ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ГОССТРОЙ СССР
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

И. Г. КОРОБАНОВА

ЗАКОНОМЕРНОСТИ
ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ
ТЕРРИГЕННЫХ
ОТЛОЖЕНИЙ

3980



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
Москва 1983



Коробанова И. Г. Закономерности формирования свойств терригенных отложений. М.: Наука, 1983. 112 с.

В монографии рассмотрены инженерно-геологические аспекты теории формирования состава и свойств терригенных отложений на различных стадиях литогенеза, включая стадии субаквального прогрессивного и регрессивного литогенеза, а также процессы вторичной осадочной склоновой аккумуляции и континентального литогенеза. Предложена принципиальная схема формирования инженерно-геологических свойств пород в процессах осадочного породообразования. Установлены масштабы влияния различных условий и факторов литогенеза на инженерно-геологические свойства пород.

Обоснованы простые и надежные критерии для выделения стадий и этапов литогенеза и зональных изменений инженерно-геологических свойств пород. Разработана инженерно-геологическая типизация пород на основе анализа стадий и этапов литогенеза и предложены методические рекомендации для рационального инженерно-геологического изучения пород с учетом их зональных особенностей.

Для специалистов в области инженерной геологии, литологии, нефтяной геологии, горного дела.

Табл. 9. Ил. 22. Библиогр. 119 назв.

Ответственный редактор
доктор геолого-минералогических наук
профессор Р. С. ЗИАНГИРОВ

ВВЕДЕНИЕ

В работе рассматриваются инженерно-геологические аспекты закономерностей формирования состава и свойств терригенных отложений на различных стадиях литогенеза, включая стадии как субаквального прогрессивного литогенеза, так и регрессивного, а также процессы вторичной осадочной склоновой аккумуляции и континентального литогенеза. Рассматриваемые вопросы составляют одну из основных проблем современной инженерной геологии, решение которой позволит выяснить механизм формирования инженерно-геологических свойств пород, понять природу их прочности, деформируемости и водостойкости, т. е. тех качеств, которые определяют поведение пород при взаимодействии с сооружением.

Выяснение особенностей формирования инженерно-геологических свойств пород в процессах осадочного породообразования является научной основой современного грунтоведения, оно необходимо для понимания процессов литогенеза и связано с задачами практики промышленного, гражданского и гидротехнического строительства, с разведывательными работами на нефть и газ, с поисками пород с различными строительными качествами, что позволяет обоснованно и экономически эффективно вести инженерно-геологические изыскания.

Основной целью настоящих исследований явилось выявление механизма литогенетических преобразований инженерно-геологических свойств терригенных осадочных отложений, влияния различных условий и факторов литогенеза на характер и интенсивность стадийных изменений пород.

Автор ставил перед собой следующие задачи:

1) детальная и комплексная характеристика полифациальных терригенных осадочных образований в связи с задачами стадийного инженерно-геологического анализа; 2) инженерно-геологический анализ стадий и этапов литогенеза и характеристика зональных особенностей пород; 3) выяснение эволюции инженерно-геологических свойств пород на протяжении полного цикла литогенеза.

Фактическим материалом для обоснования научных положений, выводов и рекомендаций послужили результаты полевых и лабораторно-экспериментальных работ. Были использованы также многочисленные публикации по литологии, морской геологии, грунтоведению и инженерной геологии.

При сборе и обработке фактического материала, проведении лабораторно-экспериментальных исследований автору помогали А. П. Ковалева, А. К. Копылова, Г. Г. Зубкович, Н. Г. Иножарская, В. М. Громова. В подготовке рукописи к печати участвовали Н. А. Душкина, А. В. Кротова, Е. И. Кириллова. Всем товарищам, содействовавшим выполнению настоящей работы, автор приносит глубокую и искреннюю благодарность.

Большое влияние на формировании взглядов автора по рассматриваемым вопросам оказал член-корреспондент АН СССР В. А. Приклонский, который был основоположником этой тематики.

Автор считает своим приятным долгом принести особую благодарность академику Е. М. Сергееву, чье постоянное внимание и советы способствовали выполнению настоящей работы.

ЧАСТЬ I

ИЗУЧЕННОСТЬ ВОПРОСА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Глава I

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Изучение закономерностей формирования инженерно-геологических свойств осадочных пород в едином процессе осадочного породообразования, выделение отдельных его стадий и этапов являются теоретической основой оценки горных пород в инженерно-геологических целях.

Эта проблема, выдвигавшаяся Ф. И. Саваренским, В. А. Приклонским, В. Д. Ломтадзе, Е. М. Сергеевым, базируется на достижениях современной литологии. Крупнейшими специалистами-литологами достигнуты большие успехи в разработке теории осадочного породообразования, в изучении отдельных его стадий и этапов (Н. М. Страхов, Л. В. Пустовалов, Л. Б. Рухин, М. С. Швецов, Н. Б. Вассоевич, В. Энгельгард, Г. Ларсен, Дж. В. Чилингар, Г. Мюллер, Э. К. Депплес и др.). Современная литология рассматривает горные породы как минеральные ассоциации, формирование которых проходило в течение нескольких этапов и стадий осадочного процесса. Стадийность минералого-петрографических изменений осадочных пород, последовательный и постепенный переход их в метаморфические породы подтверждаются рядом исследователей [Kulbicky, Mullot, 1961; Коссовская, 1960; Шутов, 1962; Копелиович, 1965; Карпова, 1967; Логвиненко, 1968; и др.].

Общая схема диагенеза — стадии превращения осадка в породу — наиболее детально разработана Н. М. Страховым [1960, 1963]. Стадийность осадочного процесса положена им в основу учения о типах литогенеза. Для гумидного породообразования он разработал детальную схему диагенеза, подтвержденную впоследствии громадным фактическим материалом.

Вопросам стадийного изменения глинистых минералов посвящены исследования многих авторов [Грим, 1956; Страхов, 1960; Weaver, 1958; Клубова, 1973; Ратеев, 1964; и др.]. Однако вопрос о том, насколько глубоко подвергаются изменениям в процессе диагенеза и категенеза внесенные в бассейн глинистые минералы, до сих пор не получил определенного решения.

Н. Б. Вассоевич [1962] предлагает рассматривать гипергенез как завершающую стадию литогенеза и в то же время как стадию нового литогенетического цикла. Геохимические аспекты развития гипергенного процесса в связи с поисками полезных ископаемых освещаются многими исследователями (И. И. Гинзбург, И. А. Рукавишников, О. П. Казанский, К. И. Лукашов, К. К. Никитин, В. П. Петров и др.).

Перенос и седиментацию в настоящее время принято рассматривать как две стороны одного и того же явления [Страхов, Логвиненко, 1959; Вассоевич, 1962]. Конкретные формы проявления субаэрального литогенеза различ-

ных континентальных осадочных образований, формирующихся на путях переноса, и лежащие в их основе сложные сочетания процессов выветривания, денудации и осадконакопления наиболее детально изучены Е. В. Шанцером [1966].

Около 30 лет назад инженерно-геологические аспекты теории формирования состава и свойств осадочных образований начали интенсивно разрабатываться благодаря исследованиям главным образом советских инженеров-геологов: В. А. Приклонского, И. В. Попова, В. Д. Ломтадзе, Е. М. Сергеева и их учеников и последователей.

В результате работ этих исследователей выявлена общая направленность процесса формирования инженерно-геологических свойств осадочных пород и сформулированы основные пути его изучения. Особое место занимает изучение песчано-пылевато-глинистых терригенных образований как наиболее сложных, изменчивых, широко распространенных в литосфере и наиболее часто являющихся основанием и материалом различных сооружений.

В Советском Союзе и за рубежом появились работы, освещающие отдельные стороны формирования инженерно-геологических свойств различных регионально-генетических типов и формаций в связи с историей их геологического развития [Приклонский, 1956; Ломтадзе, 1958; Котлов, 1962; Горькова, 1965; Коробанова, 1956, 1970а, б; Gardermeister, 1975; и др.].

И. В. Попов, а позже Г. А. Голодковская [1964], В. Т. Трофимов [1977] в своих работах отмечают важную роль генезиса и тектогенеза в формировании свойств пород и предлагают при их региональной инженерно-геологической классификации наиболее крупной таксономической единицей считать формацию.

Фундаментальными исследованиями И. М. Горьковой [1956б, 1958, 1965], В. И. Осипова [1979] была установлена роль физико-химических процессов в литификационном упрочнении глинистых пород. В. А. Приклонский [1956], В. Д. Ломтадзе [1956, 1958], И. Г. Коробанова [1956, 1970а, б] ведущим процессом формирования инженерно-геологических свойств субаквальных глинистых отложений считают постепенное уплотнение погружающихся осадков под давлением отлагавшегося выше материала.

Результаты исследований отложений третичной и четвертичной седиментации позволили выяснить закономерности естественного уплотнения современных глинистых осадков конечных водоемов стока [Emery, Rittenberg, 1952; Shepard, Moare, 1955; Zulling, 1956; Алиев, 1959; Горькова, 1958; Hamilton, 1959; Моноушко, 1962; Поляков, 1973; Мюллер, 1971; и др.]. Однако большинство из этих работ освещают изменение свойств глинистых осадков небольшой мощности, до 100 м. Исследования, посвященные моделированию природного уплотнения пород, дали возможность выяснить влияние гранулометрического и химико-минерального состава на характер и интенсивность процесса уплотнения [Ломтадзе, 1953; Meade, 1962, 1963, 1966, Зиангиров, 1974; Рабаев, 1969; и др.].

Большинство специалистов, анализируя многочисленные фактические данные, пришли к выводу о закономерном уплотнении глинистых пород с глубиной. Общие схемы и типовые кривые уплотнения глинистых пород предложены В. Д. Ломтадзе [1956], Н. Б. Вассоевичем [1960], Ю. В. Мухиным [1965]. В то же время некоторые авторы [Прозорович, 1961; Абрамов, 1970; Кригер, 1971; Денисов, 1972] на основании изучения природных геологических объектов и теоретических соображений придерживаются про-

тивоположного мнения, полагая, что четких изменений плотности и пористости глинистых пород от глубины их залегания не существует.

Результаты многочисленных исследований физико-механических свойств гипергенно-измененных пород и пород разного состава, возраста и генезиса, выполненных разными авторами для различных районов страны, показали, что гипергенные преобразования пород сопровождаются, как правило, их дезинтеграцией, разуплотнением и разупрочнением, т. е. имеет место регрессивный процесс (регрессивный литогенез по В. А. Приклонскому). Однако известны работы, в которых описываются случаи упрочнения и литификации пород в зоне гипергенеза [Татарский, 1953; Парабучаев, 1971].

Схемы расчленения коры выветривания в инженерно-геологических целях предложены Н. В. Коломенским, С. В. Дроздовым, З. А. Макеевым, Э. А. Джавахишвили, Г. С. Золотаревым и др. Однако принципиальной разницы в схемах вышеупомянутых авторов нет. Отдельные работы интересны тем, что в них рассмотрены изменения состава, строения и свойств пород, вызванные гипергенными процессами в связи с формированием и развитием оползней [Аносова, 1966; Джавахишвили, 1970; Бондарик и др., 1973; Аносова и др., 1976].

В инженерно-геологической литературе большая часть работ посвящена формированию свойств субкавалных и гипергенно-измененных образований, континентальные же осадочные отложения в таком аспекте изучены значительно хуже.

Анализ литературного материала по данной проблеме показал, что в настоящее время достигнуты большие успехи в разработке теории осадочного породообразования, тем не менее до сих пор нет единой терминологии, единой схемы литогенеза, отчетливых критериев и единой точки зрения на границы отдельных его стадий и этапов. Наименее изученными являются инженерно-геологические аспекты теории литогенеза. Несмотря на имеющиеся обобщающие работы, а также региональные исследования, освещающие отдельные стороны формирования инженерно-геологических свойств различных регионально-генетических типов пород, проблема эта во многом еще находится в стадии разработки и накопления фактического материала. Существующие общие схемы формирования инженерно-геологических свойств пород отражают лишь определенные тенденции в направлении процесса, они помогают осмыслить существующий фактический материал и дают возможность более целеустремленно осуществлять дальнейший его сбор и обобщение. Анализ современного состояния вопроса показал, что решение настоящей проблемы не может быть успешно завершено без изучения природных геологических образований, которые столь многообразны, что часто не укладываются в рамки простых схем, а моделирование природных процессов не может воссоздать все многообразие условий и факторов, которые создаются природой.

До настоящего времени стадийность формирования инженерно-геологических свойств терригенных осадочных пород недостаточно хорошо изучена. В частности, отсутствует детальный инженерно-геологический анализ стадий литогенеза. Не очень полно освещены зональные особенности пород. С некоторыми подробностями рассмотрены стадийные изменения влажности и плотности пород, между тем такие важные инженерно-геологические характеристики, как гидрофильность, физико-химическая активность, прочность, деформируемость и водостойкость, оставались малоосвещенными. Не всесто-

ронне изучены закономерности формирования полифациальных и полидисперсных свит. В комплексе терригенных отложений наиболее изучены глины, хотя многие касающиеся их вопросы не решены или являются дискуссионными. Песчано-алевритовые образования терригенного комплекса с позиций стадийного инженерно-геологического анализа почти не исследовались.

Недостаточно выяснены эволюция, общие закономерности и механизм формирования инженерно-геологических свойств полифациальных терригенных отложений на протяжении полного цикла литогенеза. И если исследованиям формирования свойств пород в процессах субаквального прогрессивного литогенеза и гипергенных преобразований посвящено довольно большое количество работ, хотя многие стороны этих процессов неясны или являются дискуссионными, то изменение инженерно-геологических свойств пород в ходе транспортировки материала и вторичной осадочной континентальной аккумуляции почти не изучалось.

С некоторыми подробностями рассмотрены самые ранние моменты изменения бассейновых осадков (первые десятки метров), достаточно же длительный этап, отвечающий диагенезу и начальному категенезу, остается малоосвещенным. Не выяснены воздействие формационных и фациальных условий на характер и темп стадийных изменений, масштабы влияния седиментационных признаков и постседиментационных изменений на инженерно-геологические особенности пород.

Неполно охарактеризованы условия и факторы, обеспечивающие нормальный ход эволюции инженерно-геологического облика пород и способные нарушить общую направленность процесса. Не выяснены масштабы их влияния на различных стадиях литогенеза. До сих пор нет отчетливых, обоснованных и надежных критериев для выделения стадий и этапов изменений инженерно-геологических свойств пород в ходе осадочного породообразования.

Перечисленные выше нерешенные вопросы и определили характер, цели и задачи настоящих исследований.

Глава 2

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

При определении теоретической направленности и методологической основы данного исследования мы опирались на положение о том, что только историко-геологический подход к изучению пород дает возможность получить правильную научно обоснованную их инженерно-геологическую характеристику, а региональные исследования позволяют получать материал для анализа теоретических вопросов.

Основываясь на этом, мы находим решения поставленных задач в комплексных исследованиях, сочетающих в себе минералого-петрографическое, физико-химическое и физико-механическое изучение пород с формационным, фациальным и историко-геологическим анализами, а за основу работы берем исследование полифациальных терригенных геологических образований, сформировавшихся в разных структурно-тектонических и ландшафтно-климатических условиях и в настоящее время переживающих различные ста-

дии и этапы осадочного породообразования. Породы изучались как полиминеральные, полидисперсные, трехфазные системы с применением методов, разработанных в инженерной геологии, петрографии, физико-химической механике дисперсных систем.

Подбор образцов для исследований осуществлялся с учетом стратиграфической привязки, формационной и фациальной принадлежности. Был выполнен комплекс работ по единой методике. Характеризовались геологические условия формирования, закономерности распространения, литологические особенности и физико-механические свойства пород. Исследовались вещественный состав, текстурно-структурные особенности, физическое состояние, прочностные свойства, особенности взаимодействия с водой и деформационное поведение пород. При инженерно-геологическом изучении пород мы основывались на общих закономерностях осадочного породообразования, базирующегося на достижениях современной литологии.

В настоящей работе мы придерживаемся терминологии и схемы осадочного породообразования, разработанных Н. М. Страховым и Н. В. Логвиненко [1959] и Н. Б. Вассоевичем [1962]. Исследование инженерно-геологических свойств аллювиальных, делювиальных и оползневых склоновых отложений проводилось с позиций учения о процессах выветривания, элювиообразования, о генетических типах континентальных осадочных образований и континентальном литогенезе, разработанных Е. В. Шанцером [1966].

В качестве объектов изучения были взяты отложения терригенной мезозойской формации Русской платформы в районе Курской магнитной аномалии, где разрез полифациальных терригенных отложений мезозоя имеет достаточно разработанную стратиграфическую схему и где условия залегания пород (увеличение мощности осадочного чехла с севера на юг, в направлении Днепровско-Донецкой впадины) послужили основанием для анализа постдиагенетических изменений и раннекатагенетических преобразований платформенной терригенной формации гумидной равнины.

Для характеристики закономерностей формирования свойств осадков конечных водоемов стока и для анализа ранних их постседиментационных изменений в условиях аридного геосинклинального бассейна были исследованы глинистые отложения Каспийского бассейна третичной и четвертичной седиментации в районе Бакинского архипелага до глубины 1200 м.

Позднекатагенетические преобразования пород и их изменения в фазу регрессивного литогенеза и в процессах осадочной континентальной склоновой аккумуляции в условиях горно-складчатого рельефа и средиземноморского гумидного климата рассмотрены на примере пород терригенного флиша Южного берега Крыма (ЮБК).

Выполнен следующий комплекс лабораторно-экспериментальных работ.

1. Изучение шлифов, гранулометрического и минерального состава пород, состава и минерализации поровых растворов, емкости поглощения и состава поглощенных катионов, содержания водно-растворимых солей по водным вытяжкам, органического вещества (гумус), карбонатов, гипса, аморфного растворимого в щелочах кремнезема, форм реакционноспособного железа.

Оценка текстурно-структурных особенностей, химико-минерального состава пород ЮБК давалась с учетом направленности гипергенного минералообразования, засоления или, наоборот, выщелачивания в связи с особенностями формирования пород на склоне, гидрогеологической обста-

новкой, процессами выветривания и континентального литогенеза. Химические анализы пород выполнялись для дисперсной составляющей после отделения крупнообломочных включений.

2. Изучение физического состояния, водных, прочностных свойств и деформационного поведения, пльвунности и тиксотропии песчано-коллоидных пород и склонности их к механической суффозии.

Для выяснения характера изменения физико-механических свойств пород таврического флиша при элювиообразовании и формировании склоновых накоплений изучались образцы, отобранные из коренных пород, из коры выветривания, из делювиальных и оползневых накоплений. При выборе методов оценки физико-механических свойств пород мы исходили из задач исследований и учитывали литологические особенности полускальных пород таврического флиша, элювия, делювиальных и оползневых накоплений, содержащих крупнообломочные включения.

Для характеристики физико-механических свойств крупнообломочных пород использовалась методика, предложенная А. И. Шеко [1956] и Р. Г. Тулиновым [1971].

Лабораторно-экспериментальные исследования выполнены следующими методами.

1. Изучались и описывались шлифы, ориентированные параллельно и перпендикулярно слоистости пород.

2. Гранулометрический состав определялся обычным пипеточным методом, с предварительной диспергацией навески грунта пиррофосфатом натрия; микроагрегатный состав — после предварительного двухчасового взбалтывания грунта с водой в шюттель-аппарате. Для гранулометрического анализа пород ЮБК, содержащих крупнообломочные включения, брались большие пробы грунта, до 2—3 кг. Содержание крупнообломочных включений определялось с помощью набора сит, песчано-глинистая фракция — промывкой водой.

3. Минеральный состав дисперсной составляющей ($<0,001$ мм) определялся с помощью электронно-микроскопических, термических и рентгено-структурных анализов.

4. Изучение минерального состава песчано-алевритовых фракций (0,25—0,05 и 0,5—0,01 мм) проводилось с помощью иммерсионных анализов и по шлифам.

5. Аморфный кремнезем определялся из 5%-ных щелочных вытяжек, карбонаты — кальциметрическим методом, водно-растворимые соли — по водным вытяжкам и по результатам анализов поровых растворов, гипс — по 2%-ным солянокислым вытяжкам, гумус — по методу Тюрина и Кноппа, формы реакционноспособного железа — по методу Залманзон [Страхов, Залманзон, 1955; Аринушкина, 1961].

6. Поглотительная способность пород и состав поглощенных катионов исследовались методом Грабарова-Уваровой и Антипова-Каратаева [Аринушкина, 1961].

7. Физическое состояние, свойства пород изучались обычными методами грунтоведения [Чаповский, 1975].

Характеристика естественной влажности и плотности пород ЮБК, содержащих крупнообломочные включения, давалась как для пород в массиве, так и для крупнообломочных включений и песчано-глинистой составляющей. Плотность грунта в массиве устанавливалась методом взвешивания монолит-

ных образцов большого размера, весом до 1 кг. Этот метод контролировался плотностью грунта в кольцах большого размера (диаметр 6 см и высота 10 см). Естественная влажность и плотность песчано-глинистого заполнителя определялись по методике А. И. Шеко [1956].

8. Прочность пород характеризовалась пределом прочности при одноосном сжатии стандартных образцов и прочностью, установленной с помощью пластомера П. А. Ребиндера [Горькова, 1956а]. Сопротивление пород одноосному сжатию измерялось с трех-четырёхкратной повторностью, в условиях свободного бокового расширения образцов.

9. Для получения прочностных характеристик пород в условиях сложного напряженного состояния проводились испытания в стабилометре по методу быстрого сдвига без возможности дренирования.

10. Изучение сопротивления пород одноплоскостному сдвигу проводилось на образцах с ненарушенной структурой и естественной влажностью по трем основным схемам:

схема I — без предварительного уплотнения образцов;

схема II — после предварительного уплотнения образцов под водой при нагрузках 0,1; 0,3; 0,5; 0,8 МПа.

схема III — после предварительного свободного набухания образцов.

Сдвигающие нагрузки увеличивались последовательно через интервал в 2 мин. При проведении испытаний на сдвиг определялись объемный вес и влажность образцов до и после опыта. Полученные результаты выражались величиной сдвигающего усилия при вертикальных нагрузках 0,1; 0,3; 0,5; 0,8 МПа, коэффициентом трения и сцеплением. Величины сцепления по ослабленным зонам и контактам, приуроченным к тектонической трещиноватости и трещинам выветривания в таврическом флише ЮБК, находились по методу, предложенному С. В. Николаевым и А. В. Марковым [Николаев, 1970]. Предложенная этими авторами формула позволяет установить математическую зависимость между величиной сцепления материала, выполняющего трещины в породах, и его влажностью с учетом гранулометрического состава.

Для характеристики пород ЮБК, содержащих небольшое, до 10%, количество мелких, до 10 мм, обломочных включений, были изучены показатели сопротивления сдвигу с помощью обычных сдвиговых приборов. Стандартным лабораторным испытаниям подвергались главным образом ослабленные увлажненные прослои в оползневых глинистых накоплениях, а также сильно разрушенные глинизированные аргиллиты в смещенных пачках.

Для характеристики сопротивления сдвигу пород, содержащих большой процент (30—40%) обломочных включений, выполнялись исследования с помощью стендовой крупногабаритной установки по методике, разработанной Р. Г. Тулиновым [1971], и полевые испытания по методу среза больших целиков грунта [Методическое пособие..., 1968].

Кроме вышеуказанных схем испытаний, для пород оползневых склонов ЮБК проведены сдвиговые испытания по схемам, позволяющим получить прочностные характеристики в условиях, моделирующих работу грунта в зонах оползневых смещений. Оползневые подвижки на склонах обычно происходят при максимальном увлажнении грунта. С учетом того обстоятельства, что степень увлажнения пород в пределах оползневых склонов в значительной степени зависит от климатических условий и сильно меняется

в течение года, проводились сдвиговые испытания при влажностях песчано-глинистой составляющей, соответствующих естественной влажности, влажности набухания, влажности на границах текучести и пластичности.

Сдвиговые испытания крупнообломочных грунтов, выполненные в стендовых крупногабаритных установках, проводились по маятниковой схеме, что позволяет моделировать поведение пород в плоскости скольжения и получать такое состояние грунта, когда в процессе деформирования в зоне среза обломочные включения оказывают минимальный «шпоночный эффект» [Тулинов, 1971].

При многократных оползневых подвижках сдвиг грунта может происходить по уже подготовленной предыдущими подвижками сильно увлажненной поверхности скольжения. Подобные условия моделируют сдвиговые испытания, выполненные по схеме повторного сдвига по подготовленной увлажненной плоскости «плашка по плашке».

11. Изучение сопротивления пород сжатию (компрессия) проводилось на компрессионных приборах по следующим схемам:

схема I — компрессионные испытания образцов с естественной влажностью, без замачивания водой;

схема II — компрессионные испытания с замачиванием образца дистиллированной водой с предотвращением набухания при помощи арретира;

схема III — компрессионные испытания образцов после их свободного набухания в дистиллированной воде.

При компрессионных испытаниях определялись влажность, объемный вес и прочность пород до и после опыта.

Нагрузки при этом давались следующие: 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8 и в отдельных случаях 1,0, 1,2 и 1,4 МПа. Разгрузки образцов производились последовательно в тех же интервалах. Образцы выдерживались под нагрузками до полной их стабилизации.

12. Набухание глинистых пород определялось по методу А. М. Васильева [Чаповский, 1975] на образцах с ненарушенной структурой и естественной влажностью и характеризовалось изменением объема, влажности и прочности образцов; величина давления набухания — с помощью прибора, предложенного В. Ф. Чепик [1964].

Способность к набуханию и водостойкость оползневых глинистых отложений ЮБК изучались для участков пород, содержащих в своем составе небольшое, не более 5—10%, количество мелких обломочных включений (до 2—3 мм).

13. Для характеристики деформационного поведения пород проводились реологические испытания для контрольных образцов по специальной методике, разработанной в физико-химической механике [Горькова, 1965].

Деформационное поведение илов и слаболитифицированных глинистых пород изучалось по методу получения «семейства кривых» кинетики развития деформаций при постоянных, возрастающих от опыта к опыту напряжениях сдвига [Горькова, 1965].

Для глинистых пород средней и высокой степени литификации реологические испытания проводились с помощью одноосного сжатия цилиндрических образцов по методу получения «семейства кривых» и по методу одноосного сжатия со ступенчатым приложением нагрузок [Емельянова, 1956]. Из каждого монолита исследовались, как минимум, по 3—4 однородных образца. Каждый образец выдерживался под постоянной нагрузкой

или до разрушения, или до затухания деформации. В отдельных случаях, если деформации не затухали в течение длительного времени (до 30 суток и более), опыт прекращался в фазе незатухающей ползучести.

Для элювиальных, делювиальных и оползневых пород ЮБК, содержащих крупнообломочные включения, реологические испытания проводились с помощью приборов стандартных размеров (при высоте образца не менее 10 см и диаметром около 6 см), но при содержании в породах крупнообломочного материала не более 20—30% и если размер отдельных обломков не превышал 1,5—2 см в поперечнике.

14. Для песчано-алевритовых пород и глинизированных продуктов выветривания аргиллитов ЮБК как в зоне аллювия, так и в смещенных пачках определялись склонность их к разжижению (пльвунности), способность к восстановлению прочности во времени и к механической суффозии.

Деформационное поведение этих пород характеризовалось как при минимальном нарушении структуры путем получения «семейства кривых» кинетики развития деформации при постоянных напряжениях сдвига, так и при максимальном нарушении структуры по результатам анализов, полученных с помощью вискозиметра Воларовича и конического пластомера Ребиндера [Горькова, 1956а, б, 1965].

Величины критических градиентов получены с помощью прибора системы В. Н. Славянова [1964].

15. При исследовании закономерностей распределения влаги в породах на различных этапах литогенеза мы придерживались представлений о видах воды в грунтах, разработанных Р. И. Злочевской [1969].

Прочносвязанная адсорбционная вода в породах определялась по величине максимальной гигроскопической влажности; количество рыхлосвязанной воды — по влажности на границе пластичности и по величине максимальной «молекулярной» влагоемкости; содержание осмотической воды — по влажности на границе текучести.

16. Для оценки степени литификационного уплотнения и упрочнения пород использовались следующие литификационные показатели: относительная влажность по Горьковой W/W_f ; показатель уплотненности по Приклонскому K_d ; показатель консистенции B .

Комплексность подхода к решению задач и большой объем фактических данных обеспечили надежность установленных научных положений, выводов и рекомендаций.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТАДИЙ ЛИТОГЕНЕЗА

Глава I

РАННИЕ ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

ТЕРРИГЕННОЙ ГЕОСИНКЛИНАЛЬНОЙ АРИДНОЙ ФОРМАЦИИ

(на примере четвертичных и плиоценовых отложений
Каспийского бассейна в районе Бакинского архипелага)

Основные черты геологического строения и история развития района

Бакинский архипелаг располагается в районе Каспийского моря, с юга омывающего западную часть Апшеронского полуострова, а с юго-востока — Кобыстан и Прикуринскую низменность. В геоморфологическом отношении он является западным подводным склоном Южно-Каспийской впадины, изобилующей многочисленными островами и банками, представляющими собой конусы грязевых вулканов. В общей схеме тектоники юго-восточного Кавказа район рассматривается как продолжение складок юго-восточного Кобыстана и Прикуринской низменности в зоне современных активных складчатых движений [Путкарадзе, 1965].

Отбор керн для исследований проводился по скв. 4 и 8а, расположенным в районе Аляты-море, который относится к зоне Алятской гряды. Анализ геологических условий формирования четвертичных и плиоценовых отложений Бакинского архипелага показал, что изученные породы являются терригенными, местами слабокарбонатными или загипсованными геосинклинальными осадками аридной зоны, с несколько повышенной скоростью осадконакопления [Алиев, 1960; Путкарадзе, 1965; Пашалы, 1965].

Геотектоническая и палеогеографическая обстановка формирования пород характеризуется воздыманием горных сооружений Кавказского хребта, значительным прогибанием Каспийского бассейна в районе Бакинского архипелага и интенсивным проявлением орогенных движений, продолжающихся в настоящее время и оказывающих существенное влияние на распределение терригенного материала в осадках. В настоящее время Бакинский архипелаг является районом интенсивного накопления современных осадков. Наиболее древними отложениями, вскрытыми скважинами в этом районе, являются отложения среднего плиоцена, представленные так называемой продуктивной толщей. Эти отложения имеют широкое развитие, обнажаясь на сводах антиклинальных поднятий.

Разрез продуктивной толщи представляет собой мощную толщу терригенных, плохо отсортированных осадков, состоящую из чередования глинистых и песчано-алевритовых пород, где глинистый материал преобладает над песчаным.

Отложения акчагыльского яруса в Бакинском архипелаге испытывают значительные изменения по составу и мощности. Характер разреза преимущественно глинистый; глины сланцеватые, с тончайшими прослойками тонкозернистого песка и вулканического пепла. Во многих случаях разрез

замещается грязевулканической брекчией. На сводах отдельных поднятий ачкагыльский ярус полностью выпадает.

Отложения апшеронского яруса в северной части Бакинского архипелага имеют широкое развитие, слагая крылья большинства антиклинальных поднятий. Разрез выражен в основном глинами с тонкими прослойками мелкозернистого песка.

Четвертичные отложения занимают все пространство Бакинского архипелага, за исключением сводов антиклинальных поднятий. Они представлены песчано-глинистыми терригенными осадками. В разрезе выделяются: 1) тюркянский горизонт; 2) бакинский ярус; 3) гюргянская свита; 4) хазарский ярус; 5) хвалынский ярус. Современные осадки Каспия представлены терригенными алевритовыми или алевропелитовыми слабокарбонатными илами.

По данным А. Л. Путкарадзе [1965], наибольшая мощность (от 75 до 175 м) современных и новокаспийских осадков отмечается в синклиналиных прогибах. На сводах антиклинальных поднятий она редко превышает 6 м.

Сводный разрез морских глинистых отложений был исследован по двум скважинам — 8а (глубина 93 м) и 4 (глубина 1207 м), пройденным на восточном крыле подовой алятской антиклинальной структуры, расположенной между мысом Алят и о-вом Булла. Скважина Аляты-море 4 находится в 3,5 км восточнее ядра антиклинали. Скв. 8а расположена в 2,8 км к юго-востоку от скв. 4.

Вещественный состав четвертичных и плиоценовых отложений района и его постседиментационные изменения

Вещественный состав пород был изучен по непрерывному разрезу четвертичных и плиоценовых отложений Каспия до глубины 1207 м (рис. 1). Литологически во всем разрезе доминируют глинистые отложения с некоторыми количественными вариациями песчаного (0—6%), алевритового (12—41%) и глинистого (фракция < 0,005 мм, 16—81%) материала, карбонатности (CaCO_3 от 5 до 36%) и загипсованности в некоторых интервалах. Прослой песчаных пород обычно маломощны и более многочисленны лишь в продуктивной толще.

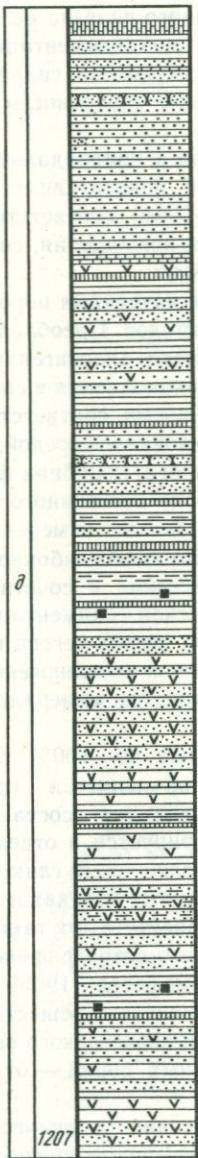
Результаты исследований З. В. Тимофеевой [1965] и М. А. Ратева, А. К. Покидина, М. Б. Хейрова [1965] свидетельствуют о «вялости» процессов диагенетического минералообразования в отложениях изученного разреза и о незначительных минерало-петрографических преобразованиях пород в катагенезе.

«Вялость» диагенетического минералообразования в аридном бассейне Каспия, достаточно высокие скорости осадконакопления и некоторая смена фациальных обстановок, связанная с фазами обмеления и локальными тек-

Р и с. 1. Сводный разрез морских глинистых отложений Каспийского моря района Аляты-море (скв. 8а и 4).

Стратиграфический индекс: а — Q_{2-4} (древнекаспийские и новокаспийские отложения); б — Q_1 т + б (тюркянский горизонт и бакинский ярус); в — N_2 ар (апшеронский ярус); з — N_2 ак (ачкагыльский ярус); д — N_2 пт (продуктивная толща). Литология: 1 — глина; 2 — глина песчанистая; 3 — известняк; 4 — фауна; 5 — глина алевритистая; 6 — песок глинистый; 7 — песок; 8 — пирит; 9 — гипс; 10 — ил; 11 — ил песчанистый; 12 — сернистое железо; 13 — прослой песчаника; 14 — вулканический пепел; 15 — растительные остатки; 16 — места отбора образцов; 17 — конкреции

Стратиграфический индекс	№ скв. и глубина от дна моря, м	Литология
а	Скв. 8 а 75	
б	Скв. 4 163	
в	559	
г	610	



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17

тоническими движениями, затушевывают проявление зональности в минерало-петрографических преобразованиях пород и нарушают закономерную направленность в изменении их вещественного состава. Вещественный состав изученных пород отражает первичные седиментационные условия формирования, контролируемые сменой различных фациально-палеогеографических обстановок.

Для пород изученного разреза не характерны явно выраженные закономерно направленные постседиментационные преобразования химико-минерального состава, дисперсности, гидрофильности, физико-химической активности и, следовательно, способности удерживать то или иное количество связанной воды.

Физико-химическая и коллоидальная активность пород изученного разреза характеризуется показателями пластичности и гидрофильности по В. А. Приклонскому [1956], соответственно равными 0,24—0,46 и 0,61—1,26, и величинами емкости поглощения, составляющими 11—35 мг/экв на 100 г абсолютно сухой породы.

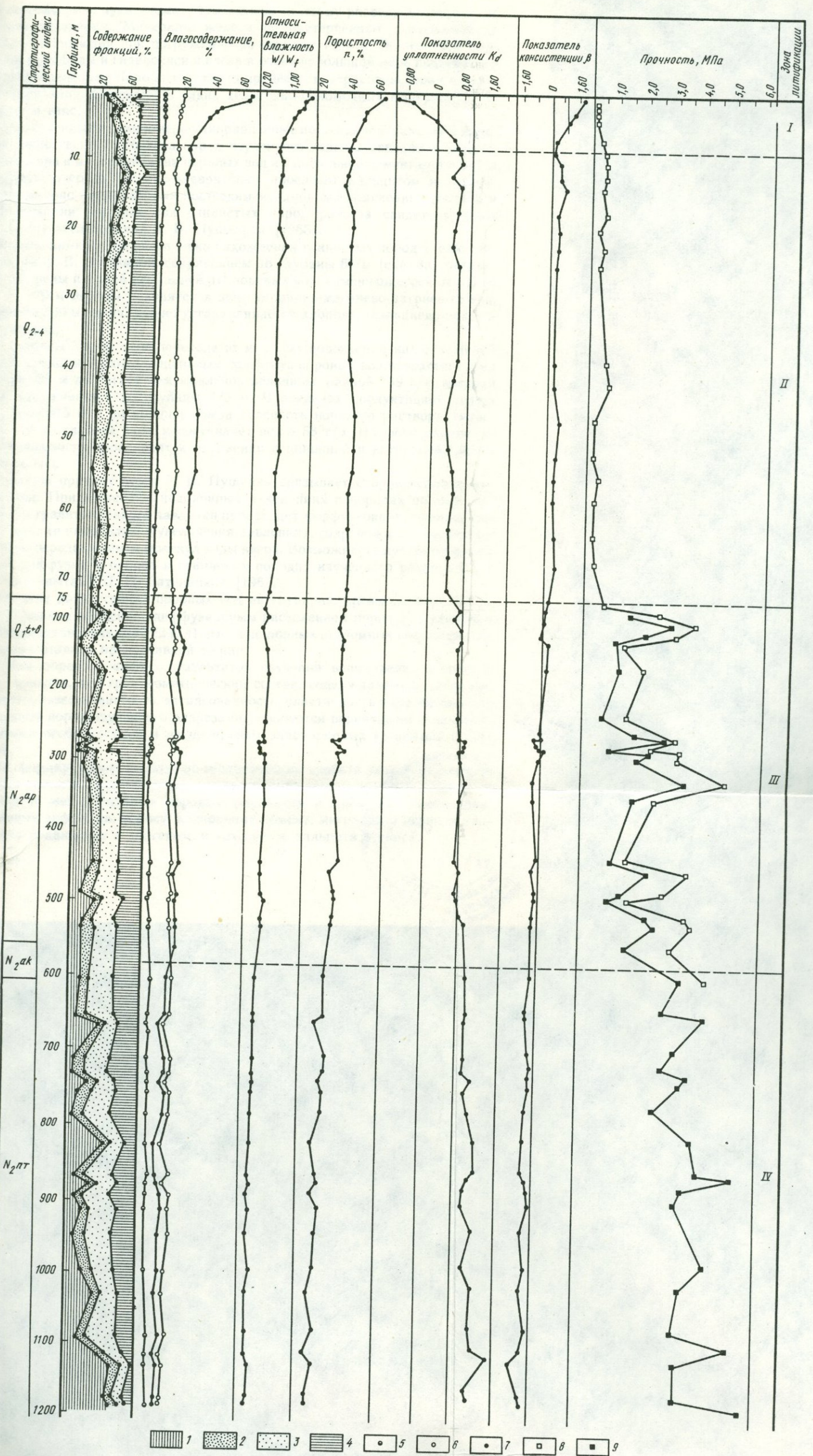
В сводном разрезе изученных пород не наблюдаются и вторичные изменения глинистых минералов. Преобладающие минералы гидрослюды, а также минералы примеси имеют аллотигенный генезис.

Обстановка осадконакопления в современном Каспийском море в четвертичное и плиоценовое время, соответствовавшая начальному этапу аридного литогенеза, характеризовалась средой, близкой к нейтральной, с рН 8,5—7,5. Как считает М. А. Ратеев, подобная физико-химическая обстановка исключает существенную роль аутигенного синтеза алюмосиликатных глинистых минералов. Диагенетическим изменениям глин здесь не благоприятствует, с одной стороны, терригенный слабокарбонатный характер фаций, геосинклинальный характер бассейна и сочетание аридного климата с достаточно интенсивной механической седиментацией, с другой — отсутствие в составе глинистого материала, вносившегося в водоем, малоустойчивых минералов типа биотита и основных вулканогенных продуктов [Ратеев и др., 1965].

Распределение глинистых минералов в глинистых породах имеет следующие особенности.

Гидрослюды слагают 80—100% глинистой фракции во всем разрезе. Их распределение объясняется кристалличностью и совершенством структуры. Монтмориллонит составляет максимально 20% фракции <0,001 мм и концентрируется в отдельных маломощных прослоях, заключенных в толще гидрослюдистых глин. Сепиолит встречается в виде единичных волокон в современных осадках и в нижней половине хазарского яруса. Каолинит и хлорит присутствуют также в виде примесей. Отсутствие явно выраженных минерало-петрографических преобразований пород изученного разреза З. В. Тимофеева [1965] объясняет незначительным содержанием исходного органического вещества в осадках аридного водоема и небольшим интервалом геологического времени, в течение которого проходило формирование изученных пород — от среднего плиоцена до современной эпохи.

Небольшое содержание органического вещества в исходных осадках и повышенная известковистость способствуют созданию таких геохимических условий, в которых ослаблены процессы редукции сульфатного и гидроокисного железа и снижена интенсивность изменения терригенно-обломочного материала в осадке.



Р и с. 2. Изменение физико-механических свойств пород по сводному разрезу (свкв. 8а и 4) в зависимости от их дисперсности и глубины залегания

Фракции: 1 — более 0,01 мм; 2 — от 0,01 до 0,005 мм; 3 — от 0,005 до 0,001 мм; 4 — менее 0,001 мм; 5—7 —

влажесодержание: 5 — гигроскопическая влажность, 6 — максимальная молекулярная влагоемкость, 7 — естественная влажность; 8, 9 — прочность: 8 — пластическая, 9 — на одноосное сжатие

Распределение аутигенных форм железа по всему разрезу не зависит от глубины залегания. Минералы железа не претерпевают сколько-нибудь заметных изменений при погружении на глубину 1200 м. Железистые карбонаты, сульфиды и гидроокиси железа в очень небольшой мере подвержены перераспределению. Наиболее активно процессы перераспределения и перекристаллизации протекают в таких хемогенно-обломочных минералах, как кальцит и гипс.

Существенные и закономерно направленные постседиментационные изменения вещественного состава пород изученного разреза связаны с изменением состава и минерализации поровых вод и с локальной цементацией пород (в первую очередь песчано-алевритовых прослоев) кальцитом и гипсом. О закономерно направленных постседиментационных изменениях состава и минерализации поровых вод глинистых пород разреза свидетельствуют результаты исследований З. В. Пушкиной [1965].

Физико-химическая обстановка нахождения глинистых пород характеризуется, по З. В. Пушкиной, сохранением до глубины 63 м (скв. 8а) окислительной среды и малой вариацией рН поровых вод, изменяющегося от 6,5 до 7,5. До 170 м породы находятся в зоне хлоридно-магниево-натриевых вод, с глубины 330 м окончательно устанавливается хлоридно-кальциево-натриевый тип вод.

С глубины 3 м по мере перехода от молодых новокаспийских отложений к более древним верхнеплиоценовым соленость поровых вод возрастает и на глубине 620 м достигает максимальной величины, равной 139 г/л, которая затем удерживается до глубины 875 м. В пределах продуктивной толщи с глубины 875 м и до конца разреза соленость порового раствора уменьшается и на глубине 1188 м составляет всего 58 г/л. На фоне изменения общей солености происходят и изменения в анионной и катионной частях поровых вод.

Главную причину этого З. В. Пушкина связывает с процессами самодиффузии. При постседиментационных изменениях в породах по мере нарастания гравитационного давления происходит диффузионное перемещение солей вниз (в направлении увеличения давления), сопровождающееся осмотическим передвижением молекул воды вверх. Возможность протекания процессов диффузии и осмоса в глинистых породах изученного разреза была доказана опытами Н. П. Затенской [1965].

Причину распреснения поровых вод на глубинах, превышающих 875 м, З. В. Пушкина объясняет диффузионным рассолением пород под влиянием менее минерализованных (22 г/л) высоконапорных подземных вод, вскрытых в нижних отделах продуктивной толщи.

Таким образом, анализ результатов изучения вещественного состава пород показал, что гранулометрический состав, содержание органического вещества, известковистость, загипсованность, пластичность и коллоидальная активность пород изученного разреза определяются первичными седиментационными особенностями и не проявляют закономерных изменений с глубиной.

На формирование инженерно-геологических свойств пород изученного разреза существенное влияние оказывают постседиментационные изменения состава и минерализации поровых растворов и процессы цементации, обязанные диффузии, осмосу, катионному обмену, миграции и перекристаллизации подвижных в диагенезе и катагенезе кальцита и гипса.

**Физико-механические свойства четвертичных и плиоценовых отложений
и их постседиментационные изменения, стадии и зоны уплотнения
и литификации пород**

Показатели физико-механических свойств являются количественным выражением степени литификации пород и отражают их постседиментационные изменения. Анализ результатов экспериментальных исследований (рис. 2, вкл.; табл. 1) показал следующее.

В величинах максимальной гигроскопической влажности и максимальной «молекулярной» влагоемкости, соответственно характеризующих содержание прочно- и рыхлосвязанной воды в породах, не наблюдается каких-либо закономерных изменений с глубиной залегания пород. Колебания в величинах этих показателей отражают дисперсность пород и гидрофильность их коллоидных фракций, показатели которых, в свою очередь, не обнаруживают закономерных изменений с глубиной.

Величины максимальной гигроскопической влажности и максимальной молекулярной влагоемкости по всему разрезу меняются мало, соответственно колеблясь от 2 до 5% и от 12 до 20%, что свидетельствует об относительной однородности пород изученного разреза.

На фоне более или менее однородного состава в морских глинистых отложениях наблюдаются четкие, закономерно направленные изменения плотности, влажности, прочности и деформируемости. Породы изменяются от сильнообводненных полужидких илов до уплотненных и упрочненных аргиллитоподобных глин верхнего плиоцена. Закономерно снижается их пористость, повышается уплотненность, породы последовательно переходят из скрытотекучего неуплотненного состояния в мягкопластичное и пластичное. А глубже 550—600 м, когда в породах почти не остается свободной и энергетически слабосвязанной воды (естественная влажность становится близкой к величине максимальной гигроскопичности), они приобретают твердую консистенцию, весьма высокий предел прочности (до 6,0 МПа) и упругость.

Таблица 1

**Показатели физико-механических свойств в сводном разрезе
плиоценовых и постплиоценовых отложений Каспийского моря
района Аляты-море (скв. 4 и 8а)**

Зона литификации	Интервал глубин, м	Содержание фракций < 0,005 мм M_c , %	Гигроскопическая влажность W_r , %	Максимальная молекулярная влагоемкость $W_{мвл}$, %
I	От 0 до 7—8	48—69	2—3	14—18
		57	2,5	16
II	От 7—8 до 70—90	36—66	2—5,5	13—18
		54	3,7	16
III	От 70—90 до 550—600	53—80	2—5,5	16—21
		67	3,7	19
IV	От 550—600 до 1200	26—81	3—5	12—20
		63	3,5	17

Величины естественной и относительной влажности соответственно изменяются от 66 до 8% и от 1,54 до 0,21. В ходе дегидратации с уменьшением естественной влажности в породах снижается количество свободной воды. Величина абсолютной естественной влажности, снижаясь с глубиной, постепенно приближается к величине максимальной «молекулярной» влагоемкости, условно характеризующей содержание рыхлосвязанной воды в породе. Глубже 550—600 м естественная влажность становится меньше величины максимальной «молекулярной» влагоемкости и на глубине 1200 м приближается к величине максимальной гигроскопической влажности, условно характеризующей содержание прочносвязанной адсорбционной воды в породе (см. рис. 2).

В ходе дегидратации повышается уплотненность пород, они приобретают новые качественные характеристики физического состояния и прочностных свойств. Снижается пористость пород от 65 до 21%. Повышается их уплотненность, последовательно изменяясь от неуплотненного состояния с показателем уплотненности K_d , равным — 1,13, через слабо- и среднеуплотненное состояние до сильноуплотненного с показателем уплотненности K_d 2,00. Соответственно меняется естественная консистенция пород, постепенно переходя из текучей, с величиной показателя консистенции β , равной 2,10, через мягкопластичную к полутвердой и твердой, с показателем консистенции β — 1,19.

В соответствии со степенью дегидратированности и уплотненности пород изменяются их прочностные свойства, возрастая от ничтожно малых величин пластической прочности, близких к 0 (0,009 МПа), до высоких показателей предела прочности при одноосном сжатии (до 6,0 МПа). Вниз по разрезу происходит постепенное увеличение прочности структурных связей в породах и нарастание твердообразных свойств (см. табл. 1).

По характеру и интенсивности единого процесса уплотнения и дегидратации пород были выделены две стадии. Наиболее интенсивно процессы дегидратации и уплотнения протекают в первых 70—90 м толщи отложений.

Естественная влажность W , %	Относительная влажность W/W_f	Пористость n , %	Показатель уплотненности $K_d = \frac{\epsilon_f - \epsilon}{\epsilon_f - \epsilon_p}$	Показатель консистенции $\beta = \frac{W - W_p}{M_p}$
66—26 48	1,54—0,76 1,12	65—43 54	(-1,13) — (+0,49) (1 — 0,29)	2,10—0,45 1,25
32—21 29	0,77—0,66 0,70	48—38 44	0,41—0,77 0,59	0,55—0,27 0,38
26—17 22	0,57—0,42 0,49	43—35 39	0,77—1,17 1,00	(+0,13)—(0,14) (-0,03)
18—8 13	0,38—0,21 0,32	33—21 28	1,23—2,00 1,48	(-0,25)—(-1,19) (-0,51)

Таблица 1 (окончание)

Зона литификации	Интервал глубин, м	Пластическая прочность P_m , МПа	Предел прочности при одноосном сжатии P , МПа
I	От 0 до 7—8	$\frac{0,009-0,143}{0,031}$	—
II	От 7—8 до 70—90	$\frac{0,113-0,545}{0,269}$	—
III	От 70—90 до 550—600	$\frac{0,8-5,0}{2,6}$	$\frac{0,8-3,5}{1,9}$
IV	От 550—600 до 1200	—	$\frac{2,7-6,1}{3,9}$

Примечание. В числителе — крайние, в знаменателе — средние величины показателя M_c определялось по результатам гранулометрического анализа с обработкой пирофосфатом приведенная пористость при нижнем пределе пластичности; ϵ_f — то же, при верхнем пределе стичности; W_f — то же, при верхнем пределе пластичности (предел текучести); M_p — число дел упругости; P_p — прочность структурных связей при пластичном разрушении; P_m — то же,

Это стадия более или менее свободного уплотнения. В пределах этой толщи наблюдается отделение большей части свободной и осмотической воды. С глубокой процесс затухает, но неуклонно продолжается вплоть до глубины 1200 м. Это стадия замедленного уплотнения.

В ходе дегидратации и уплотнения пород наблюдаются три характерных качественных скачка, когда количественные изменения в содержании воды в породе (при нарастании степени ее дегидратированности) приводят к качественным изменениям форм воды, что отражается на физическом состоянии, прочностных свойствах, деформационном поведении пород и позволяет выделить ряд этапов согласно зональным изменениям пород. Такие переходные точки соответствуют глубинам 7—8, 70—90 и 550—600 м (см. рис. 2). Установлены четыре зоны литификации, соответствующие инженерно-геологическим типам пород.

I зона литификации (от 0 до 7—8 м). Осадки характеризуются высокой гидратированностью, рыхлостью структуры, весьма слабым межчастичным сцеплением и наиболее активным течением процессов дегидратации и уплотнения с отделением большого количества свободной воды. Естественная влажность значительно превышает влажность на границе текучести ($W/W_t > 1$). Осадки обладают весьма малым условным пределом упругости (0,0008 МПа), высокой подвижностью и очень низким пределом прочности (0,003—0,028 МПа).

II зона литификации (от 7—8 до 70—90 м). Процессы дегидратации и уплотнения продолжаются, но интенсивность их во времени с глубиной затухает. Для отложенный характерны мягкопластичное и пластичное, слабо- или среднеуплотненное состояние и невысокие показатели предела прочности (до 0,54 МПа). Осадки все еще содержат большое количество свободной и осмотической воды (естественная влажность значительно превышает влажность при максимальной «молекулярной» влагоемкости), кото-

Структурно-механическая характеристика, МПа				Характеристика физического состояния и характер разрушения пород
P_{k-1}	P_r	P_m	E_1	
$8 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-2}$	—	0,5—0,1	Скрытотекучее, неуплотненное
$6-12 \cdot 10^{-4}$	0,05—0,13	—	0,10— 10^2	Мягкопластичное, мало- или среднеуплотненное. Разрушение пластичное
$2 \cdot 10^{-2}$	—	2,7	$10-10^2$	Тугопластичное на грани перехода к сильноуплотненному состоянию. Разрушение хрупкое
$7 \cdot 10^{-2}$	—	4,2	10^2-10^3	Полутвердое или твердое сильноуплотненное. Разрушение хрупкое

лей дисперсного состава и физико-механических свойств. Содержание глинистой фракции натрия с растиранием. Основные обозначения: ϵ — естественная приведенная пористость; ϵ_p — пластичности; W — весовая влажность, естественная; W_p — то же, при нижнем пределе пд-пластичности; E_1 — условно-мгновенный модуль упругости; P_{k-1} — условно-статический предел при хрупком разрушении.

рая по мере возрастания глубины залегания отжимается. В пределах зоны происходит заметное усиление межчастичных молекулярных контактных взаимодействий, дальние коагуляционные контакты сменяются ближними. Породы заметно упрочняются, однако структурные связи сохраняют коагуляционный характер, что выражается в невысоком условном пределе упругости (0,0002—0,0006 МПа), подвижности и разрушении структурных связей при малых напряжениях (предел прочности не превышает 0,1—0,5 МПа). Область пропорциональности деформаций напряжениям практически не выражена. Осадки имеют пластичный характер разрушения. К нижней границе зоны почти полностью отжимается свободная и осмотическая вода и наблюдается резкий скачок в упрочнении пород.

III зона литификации (от 70—90 до 550—600 м). Степень дегидратированности и уплотненности пород достигает такого предела, когда их естественная влажность приближается к величине максимальной «молекулярной» влагоемкости и породы приобретают тугопластичную консистенцию, а у нижней границы зоны они находятся на грани перехода в сильноуплотненное, полутвердое состояние ($\beta \approx 0$, $K_d \approx 1$). Происходит значительное усиление межчастичных контактных взаимодействий, меняется их характер. Наряду с признаками коагуляционных структур (ползучестью) они приобретают признаки конденсационных и цементационных структурных связей (высокий предел прочности — до 3,5 МПа, расширение области упругости, хрупкий характер разрушения). В широком интервале напряжений деформации этих пород пропорциональны или почти пропорциональны напряжениям.

IV зона литификации (от 550—600 до 1200 м и далее). Породы достигают такой степени дегидратированности и уплотненности, когда их естественная влажность становится меньше максимальной «молекулярной» влагоемкости и влажности нижней границы пластичности, а на глубине

1200 м приближается к величине максимальной гигроскопичности, соответствующей содержанию прочносвязанной воды. Порода приобретает твердую консистенцию ($B < 0$), высокую уплотненность ($K_d > 1$), весьма высокие прочность (до 6,0 МПа) и упругость.

Установленные нами границы зон литификации (стадий и этапов) не совпадают со стратиграфическими границами, а отражают лишь качественные изменения пород и справедливы только для пород изученного разреза, со свойственным им литологическим составом, формировавшимся в определенных геологических условиях. Однако сопоставление полученных нами данных с результатами работ других авторов показало, что общая направленность процесса справедлива для всех глинистых отложений, формировавшихся в условиях нормального прогрессивного литогенеза, при постепенном опускании земной коры.

Характер зависимости между пористостью и глубиной залегания пород изученного разреза на Каспии находится в соответствии с общими схемами и типовыми кривыми уплотнения [Ломтадзе, 1953, 1956; Weller, 1959; Вассоевич, 1960; Мухин, 1965].

Установленные нами зависимости хорошо согласуются с экспериментальными исследованиями, моделирующими процессы природного уплотнения глинистых пород [Skempton, 1953, 1970; Ломтадзе, 1953; Meade, 1962, 1963, 1964, 1966, 1968; Van-Olphen, 1963; Рабаев, 1969; Зиангиров, 1974; Лучицкий и др., 1967]. Однако, как показали исследования В. Д. Ломта [1953], Дж. Уэллера [1961], Р. Мида [Meade, 1962, 1963, 1964, 1966, 1968], Г. Чилингара и Л. Гайда [Chilingar, Knight, 1960], К. Эмери и С. Риттенберга [Emery, Rittenberg, 1952] и других авторов, при справедливости характера общей направленности процесса степень интенсивности постседиментационных изменений плотности глинистых пород в значительной степени зависит от их химико-минерального состава, содержания органического вещества, физико-химических условий среды (состав обменных катионов, рН, состав и минерализация поровых растворов), возраста пород и других факторов.

В опытах Г. С. Рабаева [1969] и Р. С. Зиангирова [1974] стадия уплотнения, в пределах которой завершается удаление рыхлосвязанной воды, соответствует уплотняющим нагрузкам порядка 10—20 МПа. Сжимаемость глинистых паст на этой стадии определяется преимущественно уплотнением и переориентировкой глинистых частиц в результате удаления рыхлосвязанной воды. Эта стадия завершается при величинах пористости, соответствующих влажности, близкой к максимальной гигроскопичности. При более высоких уплотняющих нагрузках (свыше 10—20 МПа), согласно представлениям Г. С. Рабаева и Р. С. Зиангирова, сжимаемость пород определяется преимущественно деформацией кристаллических решеток глинистых минералов и пленок прочносвязанной воды. На этой стадии возможны изменения формы и даже размера глинистых частиц.

В разрезе изученных отложений Каспия глубины, в пределах которых удаляется почти вся рыхлосвязанная вода, соответствуют примерно 1200 м, что отвечает давлению порядка 24 МПа и повышению температуры на 33 °С. Следовательно, весь изученный интервал глинистых отложений Каспия (до 1200 м) соответствует зоне, когда уплотнение пород осуществляется за счет отжатия воды и перегруппировки частиц. Однако здесь следует учесть, что природное уплотнение пород, протекающее в течение длительного геоло-

гического времени в присутствии подземных вод и высокоминерализованных поровых растворов, гораздо более сложный процесс, нежели лабораторное уплотнение глинистых паст. Поэтому природные нагрузки, соответствующие границам выделенных нами зон литификации, не равны тем уплотняющим нагрузкам, при которых были получены образцы глинистых паст с аналогичными литификационными показателями.

Эффект геостатического давления, сказывающийся в уплотнении и обезвоживании пород, будучи универсальным явлением, проявляется с различной интенсивностью в отношении тех или иных глинистых пород. А так как глинистые осадки весьма разнообразны, а геологические процессы очень сложны, не существует строго закономерной связи между пористостью и глубиной погружения. Глинистые породы обладают различным составом, разной степенью выраженности цементационных связей и другими литологическими особенностями. Они имеют разную проницаемость для заключенных в них поровых вод и находятся то в благоприятных, то в неблагоприятных условиях для цементации и перекристаллизации.

Все вышесказанное свидетельствует также и о том, что глинистые породы нельзя рассматривать (как это предлагает Н. Б. Вассоевич [1960]) в качестве простой механической модели и максимального геологического манометра, отражающего наибольшее давление, испытываемое породами за все время их существования, а компрессионные зависимости и историко-геологические кривые уплотнения нельзя использовать для восстановления историко-геологического развития территорий, как это предлагают А. Казагранде [Casagrande, 1953], А. А. Луга [1953, 1954], Ю. В. Мухин [1965].

Несмотря на справедливость общей закономерной направленности процесса естественного уплотнения глинистых пород, отражаемой диаграммами зависимостей пористости от давления [Вассоевич, 1960; Уэллер, 1961], детальное выяснение этих зависимостей в пределах каждого отдельно взятого региона превращается в индивидуальную проблему. Последнее обстоятельство и отсутствие отчетливых критериев и единого мнения о границах отдельных стадий и этапов осадочного породообразования привели к тому, что объем и границы выделенных в настоящее время рядом исследователей стадий и этапов диагенеза и катагенеза являются дискуссионными [Страхов, 1960; Коссовская и др., 1957; Страхов, Логвиненко, 1959; Вассоевич, 1962; Логвиненко, 1968]. Так, например, Н. В. Логвиненко [1968], обобщая многочисленные данные, характеризующие изменения пород в осадочном чехле платформ, передовых прогибов и верхних структурных этажей геосинклиналей, приходит к выводу, что катагенетические изменения происходят при температуре от 30—50 до 150—200 °С и одностороннем давлении от 100—200 до 1500—2000 атм.

Г. Мюллер [1971] стадию неглубокого погружения (нижнюю границу стадии диагенеза, когда первичный объем глинистых осадков очень быстро сокращается) выделяет на глубинах до 500 м. Нижнюю границу стадии катагенеза, стадию глубокого погружения, когда происходит замедленное сокращение объема глинистых пород, он предлагает выделять на глубинах порядка 5000—10 000 м. Г. Ларсен и Дж. В. Чилингар [1971] предлагают глубины погружения 10 и 400 м считать границами, соответствующими раннему и позднему диагенезу.

Н. М. Страхов [1960] считает, что глубины, на которых протекают процессы диагенеза, колеблются от 10—50 до 200—300 м.

П. Н. Куприн, А. С. Поляков, Ф. А. Шербаков [1972] в исследованных ими разрезах шельфовых отложений Каспия за верхнюю границу зоны перехода осадка в горную породу принимают глубины, равные 45—50 м, а за нижнюю — около 150 м. По мнению вышеуказанных авторов, в глубоководной части Каспийского моря мощность этой зоны уменьшается примерно на порядок.

В глинистых отложениях Бакинского архипелага начальную стадию (стадию диагенеза) формирования свойств осадков Ф. С. Алиев [1959] выделяет до глубины 60 м. В этой стадии им были выделены два этапа — этап раннего диагенеза, до глубины 10 м, и этап позднего диагенеза, глубже 10 м.

Если, вслед за Н. М. Страховым, рассматривать диагенез осадков, превращение их в породу, как процесс физико-химического и энергетического уравнивания сложной многокомпонентной системы реакционноспособных веществ в термодинамических условиях, близких к условиям поверхности земной коры, то критерием завершения стадии диагенеза можно считать такую степень дегидратированности и уплотненности пород, когда они теряют свободную и осмотическую воду, что соответствует переходу к стадии замедленного уплотнения и к новому качественному состоянию пород (изменение характера структурных связей, резкое нарастание твердообразных свойств — прочности, упругости).

Нижней границей зоны диагенеза в породах изученного разреза мы предлагаем считать глубины 70—90 м, когда осадки теряют почти всю свободную и осмотическую воду. Именно на этом рубеже осуществляется основной качественный скачок в преобразовании пород.

С глубины 70—90 м выделяется вторая стадия формирования свойств пород, соответствующая зоне раннего катагенеза. На этой стадии дегидратация и уплотнение пород продолжают, но интенсивность их с глубиной затухает. Нарастание твердообразных свойств и прочности пород на этой стадии идет не только за счет увеличения числа межчастичных контактных взаимодействий, но и за счет изменения их характера и прочности. Породы приобретают новое качественное состояние, осуществляется переход от пород с конденсационным характером структурных связей к породам со смешанными, конденсационными и цементационными межчастичными структурными связями.

На стадии диагенеза выделяются два этапа. На первом этапе, в пределах первых 8 м, происходит наиболее активная дегидратация, уплотнение и рост межчастичного сцепления, осуществляется возникновение и начальное упрочнение структурных связей в осадке, и его можно связать с ранним диагенезом. Второй этап — позднего диагенеза — соответствует второй зоне литификации.

На стадии катагенеза выделяются два этапа, соответствующие третьей и четвертой зонам литификации.

На стадии диагенеза основная роль в преобразовании физико-механических свойств осадков принадлежит самопроизвольным процессам синерезиса коллоидной системы осадков, осмосу и диффузии, а на стадии катагенеза — гравитационному уплотнению и цементации глинистых пород кальцитом и гипсом.

В пределах изученного интервала глубин (до 1200 м) не наблюдается еще перехода аргиллитоподобных глин в водостойкие аргиллиты. Для всего разреза пород, включая его самые нижние горизонты, характерна неизмен-

ность текстурно-структурных особенностей, присущих нормальным дисперсным осадочным породам. Следовательно, при глубине погружения 1200 м, геостатическом давлении 23—24 МПа и повышении температуры на 33 °С породы изученного разреза не достигают еще рубежа, отделяющего этапы начального и глубинного катагенеза и зоны неизмененного и измененного глинистого цемента [Коссовская и др., 1957; Коссовская, 1960; Логвиненко, 1968].

Глава 2

ПОСТДИАГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОРОД ТЕРРИГЕННОЙ ПЛАТФОРМЕННОЙ ФОРМАЦИИ ГУМИДНЫХ РАВНИН (на примере отложений мезозоя Русской платформы в районе Курской магнитной аномалии)

Основные черты геологического строения и история развития района

В тектоническом отношении район Курской магнитной аномалии приурочен к крупному структурному элементу Русской платформы — Воронежской антеклизе и уходит за ее пределы на территорию юго-западного и южного склонов Московской синеклизы и северного склона Днепровско-Донецкой впадины (рис. 3).

Нижний структурный этаж антеклизы образован породами, претерпевшими весь комплекс геосинклинальных процессов, и характеризуется сильной дислоцированностью. Сложен он сланцами, гнейсами, железистыми кварцитами докембрийского возраста и перекрыт чехлом разновозрастных осадочных пород.

Верхний структурный этаж представлен породами, накопленными в платформенных условиях и имеющими спокойное залегание.

На территории Воронежской антеклизы А. И. Муценко [1960] выделяет три крупных структурных элемента: северный склон, в пределах которого большую мощность и широкое развитие имеют девонские отложения, залегающие на кристаллическом фундаменте и погружающиеся под каменноугольные осадки южного крыла Московской синеклизы; центральную часть, где на кристаллическом фундаменте залегают юрские отложения; южный склон, в пределах которого между юрскими отложениями и докембрийским фундаментом располагаются известняки, песчаники и глины каменноугольного возраста. Эти породы относительно круто погружаются к югу, образуя северный склон Днепровско-Донецкой впадины.

Характеристика геологических условий формирования терригенной мезозойской формации центральных частей Русской платформы опирается на данные детального фациального и формационного анализов.

Формирование терригенной мезозойской формации центральных частей Русской платформы (и соответственно района КМА) связывается с первой половиной альпийского геотектонического цикла [Муратов и др., 1962]. Пользуясь терминологией Н. М. Страхова [1960, 1963], мезозойский цикл развития центральных частей Русской платформы можно считать временем формирования платформенных формаций гумидных равнин.

Единство процесса осадконакопления в юрском и нижнемеловом периодах доказывается близостью литолого-фациального состава и строения

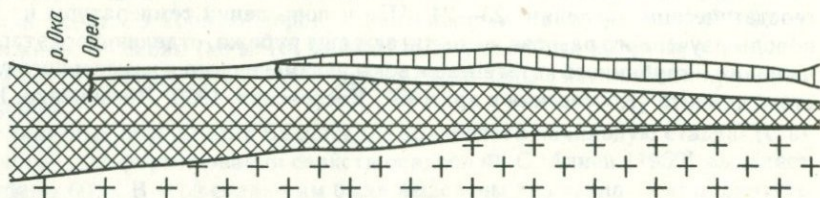


Рис. 3. Схематический разрез через Воронежскую антеклизу по линии Орел—Белгород

1—6 — отложения: 1 — палеогена, 2 — мела, 3 — юры, 4 — карбона, 5 — девона, 6 — докембрия; 7 — границы зональных инженерно-геологических изменений глинистых пород; 8 — скважины

мезозойских отложений. Для мезозойского этапа развития района (от средней юры до верхнего мела) характерно общее погружение и почти непрерывное осадконакопление с ростом мощности осадочной толщи с севера, северо-востока на юг, юго-запад.

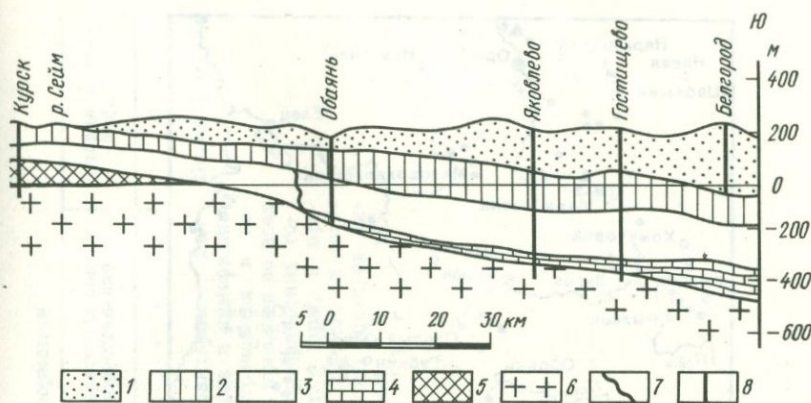
В районе КМА накопление глинисто-песчаных осадков с редкими карбонатными и углистыми прослоями идет компенсационно, параллельно прогибанию дна бассейна, что определяет довольно постоянную и небольшую его глубину. Мезозой является временем широкого распространения шельфа на Русской платформе.

Масштаб движений различен для северо-восточных и юго-западных частей района и выражается в увеличении общей мощности мезозойских отложений в направлении с севера, северо-востока на юг, юго-запад.

На общее нисходящее движение Русской платформы накладывались волнообразные колебательные движения второго порядка, обусловившие трансгрессию и изменение конфигурации и размещения мезозойских морей. Расположение района исследований в зоне миграции береговой полосы и его тектонические особенности, заключающиеся в колебательных движениях докембрийского кристаллического фундамента, обусловили большую фациальную изменчивость пород, разнообразие их мощностей и глубин залегания на различных участках при сохранении формационного типа отложений.

Процессы седиментации в мезозойское время в пределах центральных частей Русской платформы подчинялись закономерностям, установленным Н. М. Страховым для областей с гумидным климатом. Осадконакопление пород терригенной мезозойской формации проходило в условиях эпиконтинентального, платформенного мелководного морского бассейна, расположенного в условиях гумидной зоны. Бассейн имел мягкие очертания дна и сильно пенепленизированный рельеф области питания твердым стоком. В период морских регрессий морской бассейн мелел и распадался на ряд озерных и озерно-болотных впадин.

Мощная кора выветривания мелкодисперсных отложений карбона и девона являлась основным источником терригенного материала, поступавшего в мезозойские моря из областей поднятий в виде взвесей и коллоидных растворов. Такие условия осадконакопления привели к высокой степени механической и химической дифференциации продуктов сноса и способствовали формированию мелко- и тонкозернистых или высокодисперсных пород.



В связи с интенсивным погружением Днепровско-Донецкой впадины наиболее сильное опускание испытали породы, находящиеся в южной и юго-западной частях исследованного района. На северо-востоке территории, в пределах Орловской области, в верхнемеловую эпоху район испытал небольшое поднятие. Здесь при современном залегании отдельные стратиграфические горизонты мезозойских пород были выведены в зону гипергенеза и подверглись процессам разгрузки и активного выветривания.

Литологическое и инженерно-геологическое изучение пород мезозойской терригенной формации проводилось нами по опорным разрезам (рис. 4). При расчленении геологических разрезов была принята стратиграфическая схема юрских и нижнемеловых пород, разработанная В. Н. Преображенской [1958].

Среди пород мезозоя выделен ряд фациально-литологических комплексов и установлены закономерности их распространения, условия залегания и мощности с построением серии фациально-литологических карт глубин залегания и мощностей пород для каждого стратиграфического горизонта. Для выделенных на картах литологических типов пород установлен определенный набор показателей состава и свойств, обусловленный общностью седиментационно-диагенетических признаков. Для сходных фациально-литологических типов пород мезозоя установлены постдиагенетические изменения состава и инженерно-геологических свойств, которые ускоряются и усиливаются по мере увеличения мощности осадочного чехла и интенсификации катагенеза.

Выделены следующие основные фациально-литологические комплексы пород.

I. Отложения открытого моря глубоководной части шельфа. Осадконакопление этого комплекса пород проходило в глубоководной зоне шельфа, на глубинах около 200 м. Формировались они на различных участках территории в байос-батское, келловейское, оксфордское, кимериджское и нижневолжское время средней и верхней юры. Для него характерны сероцветные известковистые высокодисперсные глины, в той или иной степени алевритистые, иногда слабо сцементированные аморфным кремнеземом и карбонатами.

II. Отложения открытого моря мелководной части шельфа формировались в байос-батское, келловейское, оксфордское и нижневолжское время

Т а б л и ц а 2

Инженерно-геологическая типизация терригенной мезозойской формации

Фациально-литологический комплекс	Литологический тип	Инженерно-геологический вид и разновидность	Возраст и район распространения	Глубина залегания, м
1	2	3	4	5
<p>I. Морские глинистые отложения глубоководной зоны шельфа (глубины моря около 200 м)</p>	<p>1. Глины высокодисперсные, сероцветные, известковистые, пиритизированные, в той или иной степени окремненные, гидрослюдисто-каолинитовые</p>	<p>A. Глины аргиллитоподобные с цементационными структурными связями. Сцементированы аморфным кремнеземом (содержание 10—12%) и карбонатами, содержание которых достигает 28%. Как правило, сильно уплотнены и дегидратированы, обладают повышенной прочностью (предел прочности при одноосном сжатии 2,2—5,4 МПа), практически несжимаемые. Водостойкие — в воде почти не гидратируются, не набухают, не размокают и не размягчаются. Породы мало деформируемые. В большом интервале напряжений, вплоть до разрушающих нагрузок, породы проявляют небольшие, главным образом упругие деформации без разрушения структуры. При нарушении цементационных связей они резко снижают показатели прочности (на сдвиг, компрессию, одноосное сжатие), сильно набухают, развивая высокое давление набухания, и утрачивают водостойкость. В естественном состоянии породы характеризуются высокими показателями физико-механических свойств (высокой прочностью, малой</p>	<p>Характерны для оксфорда и кимериджа, но встречаются в качестве преслоев во всех стратиграфических горизонтах юры, в пределах южного и юго-западного крыльев антеклизы</p>	<p>Более 200—300</p>

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

деформируемостью, водостойкостью). В горных выработках в результате разгрузки и выветривания может иметь место нарушение естественных структурных связей. При этом породы резко снижают показатели физико-механических свойств, что может вызвать различные деформации.

При оценке таких пород в инженерно-геологических целях следует учитывать склонность их к резкому снижению прочности и водостойкости после нарушения цементационных связей.

Б. Глины с коагуляционно-цементационными, коагуляционно-конденсационными и коагуляционными структурными связями. Содержание аморфного кремнезема SiO_2 не превышает 1,7%. Содержание карбонатов — нередко 2—14%

а. Породы сильноуплотненные и дегидратированные, полутвердой консистенции, $K_d > 1$, $W < W_p$, $\beta < 0$. Показатели прочности высокие, но меньше, чем у аргиллитоподобных глин (предел прочности при одноосном сжатии 1,3—2,6 МПа), слабосжимаемые (a_{1-3} выражается тысячными долями). При взаимодействии с водой активно гидра-

Встречаются во всех стратиграфических горизонтах юры (байосбат, келловей, оксфорд, кимеридж, нижневолжский) южного и юго-западного крыльев антеклизы

Боле 200

тируются, сильно набухают, развивая высокое давление набухания (до 0,6 МПа), размягчаются, часто с полной потерей прочности. При нарушении естественной структуры породы сильно снижают показатели физико-механических свойств (прочность, водостойкость и др.). В большом интервале напряжений проявляют способность к ползучести. При нагрузках, близких к разрушающим, обнаруживают пластические деформации с нарушением структуры. При оценке пород следует учитывать склонность их к деформациям ползучести и высокую активную гидратацию, ведущую к набуханию и потере прочности. При проектировании креплений горных выработок необходимо учитывать величину давления набухания пород

6. Глины средней степени уплотнения, тугопластичной консистенции, $K_d < 1$, $W \leq W_p$, $\beta \geq 0$. Показатели прочности относительно невысокие (предел прочности при одноосном сжатии 0,5—1,5 МПа), среднесжимаемые (a_{1-3} выражается сотыми долями). Мснее активно гидратируются. В воде набухают и размягчаются в меньшей степени. Склонны к деформациям ползу-

Развиты в северной, северо-западной и центральных частях территории КМА среди отложений келловоя и нижневолжских

Менее 2000

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4	5
		<p>чести; в области напряжений, близких к разрушающим, проявляют значительные пластические деформации. При инженерно-геологической оценке пород следует учитывать склонность их к значительным деформациям при нагрузках, не превышающих предел прочности, а также к набуханию и снижению прочности при взаимодействии с водой</p> <p>в. Глины, подвергшиеся разгрузке и активному выветриванию, $0 < K_d < 1$; $W_f < W < W_p$; $\beta > 0$. Прочность низкая ($P_m = 0,1 - 0,3$ МПа); сжимаемость высокая ($a_{1-3} = 0,005 - 0,006$ МПа); при взаимодействии с водой набухают и распадаются по трещинам выветривания</p>	<p>Развиты среди отложений келловеев северной и северо-восточной окраины территории КМА</p>	<p>Обнажаются в долинах рек и бортах оврагов</p>
<p>II. Морские отложения мелководной зоны шельфа</p>	<p>1. Глины алевритистые сероцветные, не известковистые, с линзами и прослоями тонкозернистого песка или алеврита</p>	<p>Породы среднеуплотненные и гидратированные, тугопластичной консистенции, $K_d \geq 1$, $\beta \leq 0$, $W \geq W_p$. Породы ослаблены многочисленными песчаными линзами и прослоями. Неводостойкие, в воде распадаются по песчаным линзам и прослоям. Показатели инженерно-геологических свойств толщи в целом невысокие</p>	<p>Развиты среди отложений байос-бата и нижневолжских центральной части территории КМА</p>	<p>Свыше 150</p>
	<p>2. Тонкопесчаные алевриты сероцветные, с микролинзовидными</p>	<p>Породы сильно гидратированы, содержат большое количество свободной воды в виде иммобилизован-</p>	<p>Развиты среди нижневолжских отложений верхней юры и неокома</p>	<p>0—200</p>

текстурами, известковистые

ной; слабопроницаемы; обладают высокой водоудерживающей способностью, слабым межчастичным сцеплением, выражающимися в небольшой прочности и склонности к оплыванию при механическом воздействии, нарушении структуры и увлажнении. Породы неблагоприятны в инженерно-геологическом отношении

нижнего мела в пределах северной, северо-западной и северо-восточной частей территории КМА

3. Тонкопесчаные, кремнисто-известковистые алевролиты с микролинзовидными текстурами

Породы слабо сцементированы аморфным кремнеземом (содержание $\text{SiO}_2=20\%$) и карбонатами (содержание $\text{CaCO}_3=29\%$). Характеризуются высокой прочностью (предел прочности при одноосном сжатии 5,4 МПа), слабой деформируемостью, главным образом упругого характера, водостойкостью

Развиты среди отложений оксфорда, киммериджа, келловоя и нижневожжских в пределах сводовой части, на юго-западном и южном склонах антеклизы

100—350

III. Морские прибрежные отложения

1. Пески кварцевые, тонко и мелкозернистые, сероцветные, с линзами и прослоями глины

Породы водонасыщены, содержат напорные подземные воды. Естественная влажность близка к полной влагоемкости. Слабопроницаемые ($K_{cp}=1-4$ м/сут). Обладают очень слабым межчастичным сцеплением. Легко расжижаются и оплывают при ничтожно малых разрушающих напряжениях (0,011—0,009 МПа). При механическом воздействии вибрации, под напором воды, при увеличении влажности и нарушении структуры

Развиты среди отложений нижнего мела (неоком, альб, апт), сеномана, келловоя, нижневожжских южного и юго-восточного склонов антеклизы

0—350

Таблица 2 (окончание)

1	2	3	4	5
	<p>2. Песчаники известковистые, кремнистые, иногда железистые или битуминозные</p>	<p>легко разжижаются и переходят в пльвунное состояние. Неблагоприятны в инженерно-геологическом отношении. При проходке песков карьерами и горными выработками создается опасность пльвунных деформаций и механической суффозии. Толща песков нуждается в осушении</p> <p>Породы обычно прочные (предел прочности при одноосном сжатии достигает 7,0 МПа) и водостойкие</p>	<p>Встречаются в виде линз и прослоев в толще песков</p>	
<p>IV. Континентальные озерно-болотные отложения</p>	<p>1. Глины тонкопесчанистые, алевритистые, с прослоями и линзами тонкозернистого песка, темно-серые, гумусированные, битуминозные</p>	<p>А. Породы сильноуплотненные и дегидратированные, сцементированные органическими и органоминеральными коллоидами, $K_d > 1$, $W < W_p$, $\beta < 0$. Образцы битуминозных глин обладают высокой прочностью (2,0—2,6 МПа) и водостойкостью. Песчаные прослои ослабляют толщу пород в целом и снижают ее водостойкость</p> <p>Б. Породы средней степени уплотнения и дегидратации, $W_f > W > W_p$, $0 < K_d < 1$, $\beta > 0$. Многочисленные песчаные линзы и прослои ослабляют породы и снижают их водостойкость. Предел прочности при одноосном сжатии образцов с песчаными прослоями составляет 0,005—0,2 МПа. Толща пород в це-</p>	<p>Развиты среди отложений верхнего бата юго-западной и южной частей территории КМА</p> <p>Развиты среди отложений верхнего бата юго-восточной части территории КМА</p>	<p>250—350</p> <p>25—180</p>

2. Пески тонко- и мелкозернистые, гумусированные, с линзами и прослоями глины

лом характеризуется низкими показателями физико-механических свойств, ослаблена песчаными линзами и прослоями

Пески водонасыщены, содержат напорные подземные воды, слабо-водопроницаемые (коэффициент фильтрации 0,1—3 м/сут, иногда достигает 15—30 м/сут), с плохой водоотдачей. Обладают ничтожно малым межчастичным сцеплением. При очень малых напряжениях сдвига разжижаются и оплывают. Склонны к пловунности и механической суффозии, трудно осушаемы. Неблагоприятны в инженерно-геологическом отношении. При проходке песков горными выработками создается угроза пловунных деформаций и механической суффозии

Развиты среди отложений бата в пределах всей территории КМА

25—350

жанием органических и органоминеральных коллоидов. Осадконакопление пород проходило в основном в верхнебатское время средней юры.

Анализ и систематизация результатов исследований терригенной мезозойской формации позволили разработать генетическую инженерно-геологическую типизацию пород с учетом их зональных изменений. Полученные данные по физико-механическим свойствам и разработанная типизация пород терригенной мезозойской формации дают материал, необходимый для прогноза поведения исследованных пород при их взаимодействии с проектируемыми горными выработками района Курской магнитной аномалии (табл. 2).

Инженерно-геологические особенности отложений открытого моря глубоководной зоны шельфа

Морские глинистые породы, отлагавшиеся в глубоководной части шельфа, по результатам гранулометрических анализов относятся к высокодисперсным, реже — к смешанным глинисто-пылеватым породам [Горькова, 1970]. Тонкодисперсная часть пород в той или иной степени агрегирована [Корбанова, 1970б].

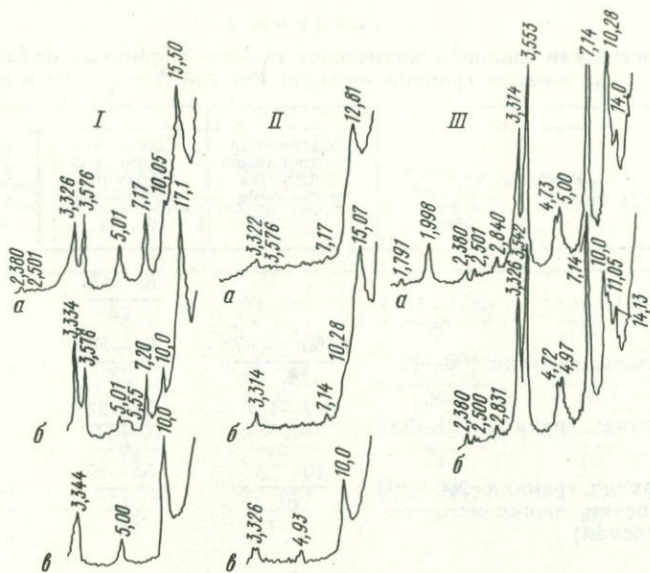
Результаты исследований минерального состава глинистых фракций показали присутствие в глинистых породах мезозоя гидрослюд диоктаэдрических, каолинита, хлорита, монтмориллонита главным образом кальциевого, смешанослойных образований двух типов: 1) со значительным содержанием разбухающих компонентов; 2) с большим содержанием стабильной фазы (рис. 5).

Для гидрослюдистых минералов подмечены отчетливые черты вторичных изменений. Гидрослюды глинистых отложений южного и юго-западного крыльев антеклизы приобретают хорошую окристаллизованность, слабую гидратированность и характеризуются четкими очертаниями и совершенством структуры. В северных и северо-восточных районах они отличаются высокой дисперсностью и гидратированностью, что проявляется в размытом характере базальных рефлексов рентгенограмм.

Состав глинистых минералов при увеличении мощности осадочного чехла претерпевает следующие изменения: увеличивается содержание хорошо окристаллизованных малогидратированных аутигенных гидрослюд и смешанослойных образований с большим содержанием стабильной фазы за счет снижения разбухающих компонентов — минералов типа монтмориллонита и смешанослойных фаз, аморфных и слабоокристаллизованных коллоидов. Аутигенные новообразования (пирит, сидерит, пелитоморфный кальцит, опал, гидрогетит) присутствуют как в рассеянном виде, так и в виде скоплений и конкреций.

Микроскопические исследования шлифов показали, что породы обладают микроагрегатными, пелитовыми или алевро-пелитовыми структурами и, как правило, микросланцеватыми и микрослоистыми текстурами. Микрослоистость обусловлена ориентированными чешуйками глинистых минералов, а также расположением литогенетической микротрещиноватости и включений органического вещества и пирита, часто выполняющих микротрещины.

Результаты химических анализов свидетельствуют о высокой степени выщелоченности материала аккумуляции, что характерно для пород данной



Р и с. 5. Диффрактограммы фракции < 1 мкм морских глинистых пород мезозоя (зоны нижней границы шельфа)

I — глина тугопластичная, J_3k (глубина 80,8 м); *II* — глина песчанистая полутвердая, J_3v (глубина 200—210 м); *III* — аргиллит слабой крепости, $J_3kt + o$ (глубина 347—347,9 м)

Ориентированные препараты: *a* — без обработки, *b* — насыщенный этиленгликолем, *v* — прокаленный 1 ч при $t = 550^\circ C$

формации в целом. Величины сухого остатка водных вытяжек не превышают 1%, чаще выражаются долями процента.

Породы в той или иной степени известковистые. Содержание карбонатов изменяется от 7 до 20%, иногда снижаясь до 1,3% или возрастая до 28%. Наблюдаемый в шлифах в виде опалового цемента аморфный кремнезем выражается долями процента. Однако в толще глинистых пород часто встречаются участки и прослои, обогащенные аморфным кремнеземом, содержание которого достигает 10, иногда 20% [Коробанова, 1970б].

Участки локальной карбонизации и окремнения встречаются в глинистых отложениях мезозоя южного крыла антеклизы на глубинах, часто превышающих 300 м. Известковистые и окремненные маломощные участки обычно тяготеют к более пористым прослоям (глины сильноалеуритистые) и перемежаются с малоизвестковистыми и малокремнистыми разностями пород. Отсутствие каких-либо явных изменений в условиях седиментации и результаты петрографического исследования шлифов позволяют считать, что пелитоморфный кальцит и аморфный кремнезем не представляют собой первичные седиментационные образования, а являются продуктами постседиментационных изменений пород.

Несмотря на известное сходство литологических особенностей глинистых пород глубоководной зоны шельфа, определяемое общностью формационных и фациальных условий, они обладают различными физико-механическими свойствами, которые находятся в соответствии с условиями существования пород в земной коре на стадиях катагенеза, а породы, выведенные в зону активного выветривания, — на стадиях гипергенеза.

Таблица 3

Показатели физико-механических свойств глинистых отложений мезозоя (J₂₋₃, нижняя граница шельфа) Русской платформы в районе КМА

Зона литификации	Глубина, м	Содержание растворимого в щелочах кремнезема SiO ₂ , %	Содержание глинистых фракций < 0,005 мм, %	Коэффициент агрегированности фракций < 0,005 мм
I	0—4	—	$\frac{68-85}{13}$	$\frac{1,25-3,3}{13}$
II	Нижняя граница 100—200	$\frac{0,60-0,87}{4}$	$\frac{61-80}{23}$	$\frac{1,5-3,4}{23}$
III	Верхняя граница 100—200	$\frac{0,7-1,7}{5}$	$\frac{51-82}{25}$	$\frac{1,2-5,8}{25}$
IV	Верхняя граница 200—300 (участки локального окремнения)	$\frac{10-20}{10}$	$\frac{55-85}{15}$	$\frac{1,2-13}{15}$

Таблица 3 (окончание)

Зона литификации	Глубина, м	Показатель консистенции β	Предел прочности при одноосном сжатии P _т , МПа	Набухание, %
I	0—4	$\frac{0,26-0,20}{7}$	$\frac{0,1-0,3}{7}$	$\frac{14-15}{4}$
II	Нижняя граница 100—200	$\frac{0,18-0,03}{50}$	$\frac{0,5-1,5}{50}$	$\frac{7-17}{26}$
III	Верхняя граница 100—200	$\frac{0,002-(-0,29)}{76}$	$\frac{1,3-2,6}{76}$	$\frac{15-33}{25}$
IV	Верхняя граница 200—300 (участки локального окремнения)	$\frac{0,001-(-0,57)}{15}$	$\frac{2,5-5,4}{15}$	$\frac{0-4}{15}$

Примечание. В числителе — крайние величины показателей, в знаменателе — коли слоев аргиллитоподобных глин (участков локального окремнения).

Изменение инженерно-геологических свойств морских глинистых отложений мезозоя в связи с увеличением мощности осадочного чехла выражается в различной степени завершенности постдиагенетических преобразований, определивших современное физическое состояние, физико-механические свойства, характер взаимодействия с водой и деформационное поведение пород. Устанавливаются четкие, закономерно направленные изменения

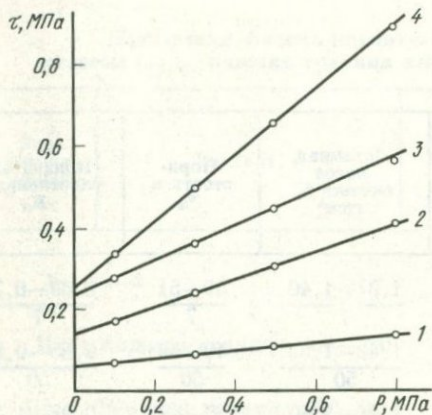
Естественная влажность $W, \%$	Верхний предел пластичности $W_f, \%$	Нижний предел пластичности $W_p, \%$	Объемная масса скелета $\delta, \text{г/см}^3$	Пористость $n, \%$	Показатель уплотненности K_d
$\frac{35-38}{7}$	$\frac{64-67}{7}$	$\frac{27-28}{7}$	$\frac{1,37-1,40}{7}$	$\frac{49-51}{7}$	$\frac{0,69-0,79}{7}$
$\frac{26-33}{50}$	$\frac{59-70}{50}$	$\frac{24-32}{50}$	$\frac{1,42-1,56}{50}$	$\frac{40-49}{50}$	$\frac{0,85-0,98}{50}$
$\frac{18-25}{76}$	$\frac{47-57}{76}$	$\frac{23-26}{76}$	$\frac{1,71-1,80}{76}$	$\frac{35-42}{76}$	$\frac{0,98-1,23}{76}$
$\frac{18-28}{15}$	$\frac{47-64}{15}$	$\frac{22-29}{15}$	$\frac{1,60-1,77}{15}$	$\frac{31-44}{15}$	$\frac{0,99-1,52}{15}$

Давление набухания, МПа	Модуль осадки по компрессии при 0,8 МПа, мм/м	Коэффициент сжимаемости по компрессии $a_{1-3}, \text{см}^2/\text{МПа}$	Модуль общей деформации по одноосному сжатию $E_0, \text{МПа}$	Характеристика физического состояния пород и характер разрушения
$\frac{0,1-0,170}{3}$	$\frac{121-124}{13}$	$\frac{0,053-0,068}{13}$	—	Пластичное среднеуплотненное. Разрушение пластичное
$\frac{0,1-0,8}{7}$	$\frac{26-50}{7}$	$\frac{0,01-0,05}{7}$	$\frac{4,6 \cdot 10-6,2 \cdot 10}{7}$	Тугопластичное на грани перехода к сильноуплотненному. Разрушение хрупкопластичное
$\frac{0,16-0,06}{10}$	$\frac{12-30}{10}$	$\frac{0,003-0,005}{10}$	$\frac{1,7 \cdot 10^2-2,0 \cdot 10^2}{10}$	Полутвердое сильноуплотненное. Разрушение хрупкое
$\frac{0}{8}$	$\frac{2-6,5}{8}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{1,2 \cdot 10^2-7,7 \cdot 10^2}{8}$	Твердое (цементация) сильноуплотненное. Разрушение хрупкое

чество исследованных образцов. В IV зоне литификации приведены показатели свойств про

влажности, плотности, прочности, деформируемости и водостойкости пород, связанные с увеличением мощности осадочного чехла и с интенсификацией катагенеза.

По показателям физико-механических свойств среды морских глинистых отложений можно выделить четыре зоны литификации и соответственно четыре инженерно-геологических типа пород (табл. 3).



Р и с. 6. Сопротивление сдвигу морских глинистых отложений мезозоя (глубоководной зоны шельфа). Образцы с естественной влажностью, без предварительного уплотнения

Глины: 1 — разуплотненные при разгрузке и выветривании, пластичные (I зона литификации), 2 — средней степени уплотнения, тугопластичные (II зона литификации), 3 — сильноуплотненные, полутвердые (III зона литификации), 4 — аргиллитоподобные, сильноуплотненные (IV зона литификации)

I з о н а. Породы залегают на глубинах 1—5 м или обнажаются в долинах рек и бортах оврагов. Степень гидратированности их характеризуется естественной влажностью, значительно превышающей нижнюю границу пластичности ($W = 35—38\%$, $W_p = 27—28\%$). Породы отличаются относительно высокой пористостью ($n = 49—51$), пластичным состоянием ($\beta = 0,26—0,20$), средней степенью уплотненности ($K_d = 0,69—0,79$), низкой прочностью ($P_m = 0,13$ МПа), высокой деформируемостью и преобладанием структурных деформаций (рис. 6, 7).

II з о н а. Нижняя граница зоны обычно составляет 100 м, иногда опускается до 200 м. Породы характеризуются большей дегидратированностью и уплотненностью, тугопластичной консистенцией и более высокой прочностью. Естественная влажность становится близкой к нижней границе пластичности или к величине максимальной «молекулярной» влагоемкости. Пористость снижается до 40—49%, показатель уплотненности приближается к 1, а показатель консистенции — к нулевой величине, предел прочности повышается до 0,5—1,5 МПа. Породы характеризуются сравнительно высокими величинами относительных деформаций, значительная часть которых имеет структурный характер (рис. 8, 9; см. рис. 6, 7).

III з о н а. Породы залегают на глубинах свыше 100—200 м. Степень дегидратированности их достигает такого предела, когда естественная влажность становится ниже нижней границы пластичности или величины максимальной «молекулярной» влагоемкости. Они приобретают сильную уплотненность ($K_d > 1$), полутвердую консистенцию ($\beta < 0$) и достаточно высокую прочность (до 2,6 МПа). Породы характеризуются низкой деформируемостью и главным образом упругим характером деформаций (рис. 10; см. рис. 6—8).

Породы трех вышеприведенных зон в той или иной степени (в соответствии со степенью дегидратированности и уплотненности) склонны к гидратации. При взаимодействии с водой они набухают, увеличиваясь в объеме до 33%, и сильно размягчаются, часто с полной потерей прочности.

IV з о н а. Глубина залегания пород превышает 200—300 м. Отличительной особенностью их является наличие среди сильноуплотненных и дегидра-

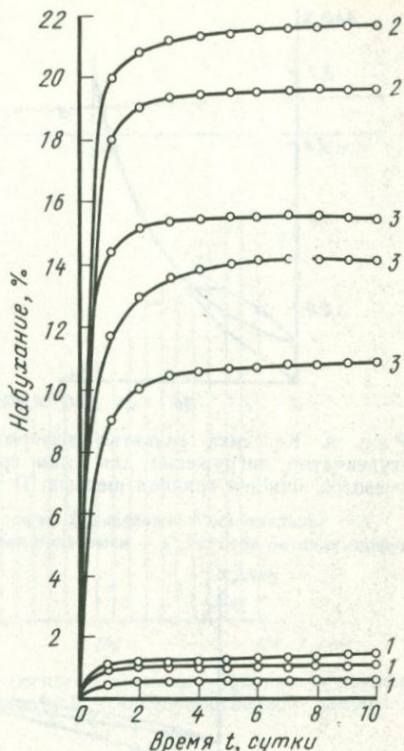
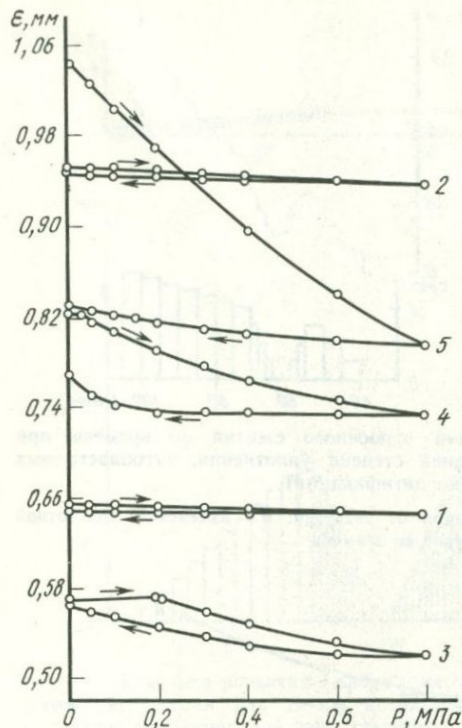


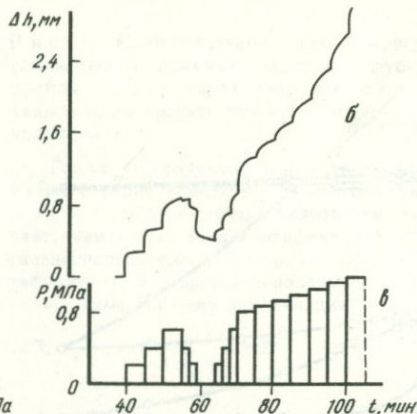
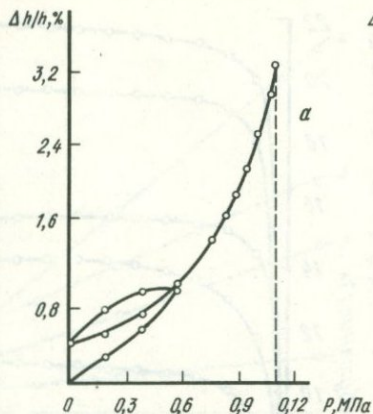
Рис. 7. Компрессионное сжатие морских глинистых отложений мезозоя (зона нижней границы шельфа). Образцы с естественной влажностью, без замачивания водой

Глины: 1 — аргиллитоподобные, сильноуплотненные (IV зона литификации), 2 — аргиллитоподобные, средней степени уплотнения (упрочненные, но недоуплотненные), 3 — сильноуплотненные, полутвердой консистенции (III зона литификации), 4 — тугопластичные, средней степени уплотнения (II зона литификации), 5 — пластичные, разуплотненные при разгрузке и выветривании (I зона литификации)

Рис. 8. Кинетика набухания морских глинистых отложений мезозоя (глубоководной зоны шельфа)

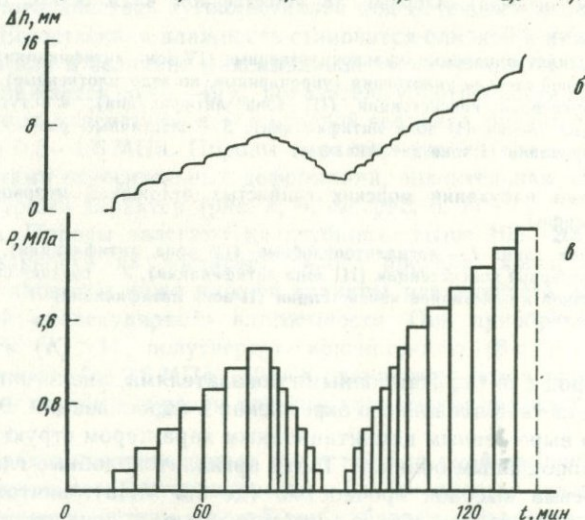
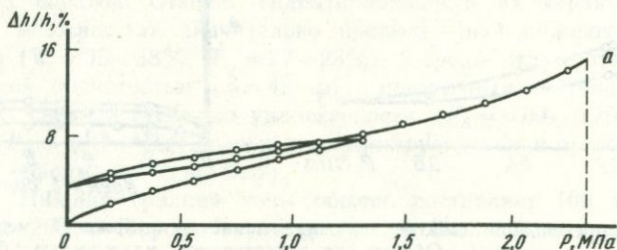
Серии образцов глины: 1 — аргиллитоподобные (IV зона литификации), 2 — сильноуплотненные, полутвердой консистенции (III зона литификации), 3 — средней степени уплотнения, тугопластичной и пластичной консистенции (II зона литификации)

тированных пород с литификационными показателями, аналогичными породам зоны III, участков локального окремнения и карбонизации. Эти участки обладают ярко выраженным цементационным характером структурных связей и аргиллитоподобным обликом. Такие аргиллитоподобные глины характеризуются весьма высокой прочностью (до 5,5 МПа), ничтожно малой деформируемостью, упругостью и водостойкостью, в воде практически не гидратируются, не набухают и сохраняют большую часть первоначальной прочности (рис. 11; см. рис. 6—8). Они еще не утрачивают своей гидрофильности и физико-химической активности, а лишь не могут проявлять гли-



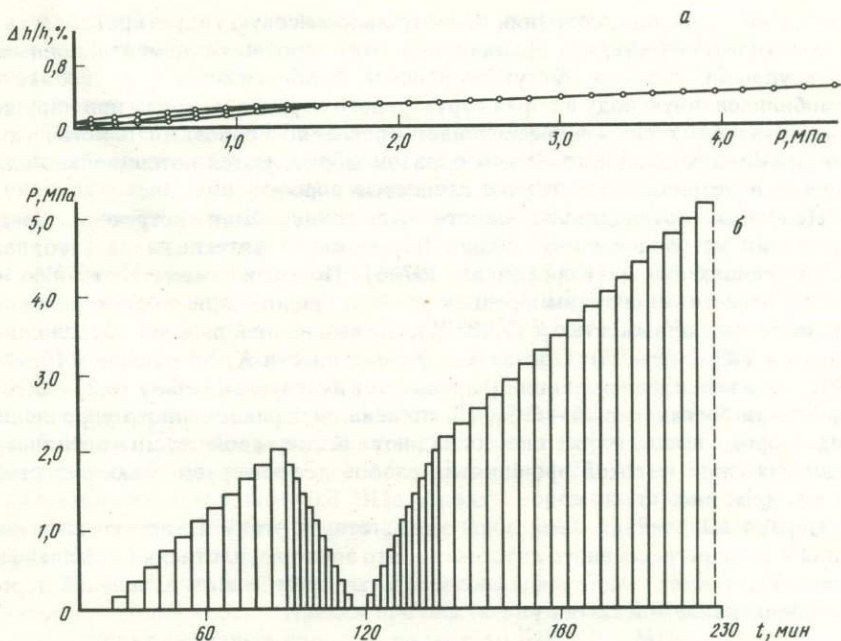
Р и с. 9. Кинетика развития деформаций одноосного сжатия во времени при ступенчатом нагружении для глин средней степени уплотнения, тугопластичных (мезозой, нижняя граница шельфа, II зона литификации)

a — зависимость относительной деформации от нагрузки; *б* — изменение абсолютной деформации во времени; *в* — изменение нагрузки во времени



Р и с. 10. Кинетика развития деформации одноосного сжатия во времени при ступенчатом нагружении для глин сильноуплотненных, полутвердых (мезозой, глубоководная зона шельфа, III зона литификации)

a — зависимость относительной деформации от нагрузки; *б* — изменение абсолютной деформации во времени; *в* — изменение нагрузки во времени



Р и с. 11. Кинетика развития деформации одноосного сжатия во времени при ступенчатом нагружении для глины аргиллитоподобной, сильноуплотненной (мезозой, отложения глубоководной зоны шельфа)

а — зависимость относительной деформации от нагрузки; б — изменение нагрузки во времени

нистые свойства благодаря прочным водостойким цементационным структурным связям. При искусственном нарушении необратимых цементационных связей в силу относительно высокой гидрофильности и слабой гидратированности такие породы проявляют выраженную склонность к гидратации. При этом они набухают, увеличиваясь в объеме до 22%, и развивают высокие величины давления набухания (до 0,38 МПа). Следовательно, это еще не аргиллиты, а аргиллитоподобные породы, их можно отнести к потенциально набухающим.

В шлифах аргиллитоподобных глин хорошо видны вторичный пелитоморфный кальцит и опаловый цемент. Однако ведущая роль в формировании прочных, водостойких, цементационных связей принадлежит гелям кремнекислоты. Гели кремнекислоты образуют коллоидные пленки на поверхности глинистых частиц и обеспечивают их прочную цементацию, которая протекает аналогично схватыванию обычных вяжущих (цементов).

Физико-механические свойства глинистых пород, цементированных гелями кремнекислоты, не всегда находятся в соответствии с их физическим состоянием и испытываемыми геостатическими нагрузками, а определяются прочностью и водостойкостью структурных связей. В тех случаях, когда коллоидные цементующие пленки гелей кремнекислоты образуются на ранних стадиях формирования пород, они препятствуют дальнейшему их уплотнению при погружении и, следовательно, обеспечивают сохранение на достаточно больших глубинах как бы «недоуплотненных» пород. Такие «недо-

уплотненные» породы, сохраняя относительно высокую гидратированность и малую уплотненность, но обладая при этом прочными цементационными структурными связями, могут содержать слабосвязанную и свободную иммобилизованную воду в порах структурного каркаса, которая при нарушении структурных связей обеспечивает проявление породами пластических или даже текучих свойств. Таким образом формируются потенциально пластичные и потенциально текучие глинистые порошки.

Подобные потенциально пластичные глины были встречены среди отложений мезозоя южного склона Воронежской антеклизы на глубинах, превышающих 300 м [Коробанова, 1970б]. По физическому состоянию их можно отнести к породам средней степени уплотнения и дегидратации. Они обладают влажностью (33—35%), превышающей нижний предел пластичности ($W_p = 22—26$). Показатель уплотненности K_d их меньше 1 (0,80—0,85), показатель консистенции β превышает нулевую величину (0,25—0,20), пористость составляет 45—49%. Но степень литификационного упрочнения этих пород высокая, и они обладают всеми свойствами аргиллитоподобных глин: высокой прочностью, слабой деформируемостью, водостойкостью (см. рис. 7).

Первая выделенная нами зона соответствует этапу активного выветривания в фазе регрессивного литогенеза. Это зона разуплотнения и делитификации. Три последующие зоны соответствуют трем этапам изменений пород на стадии раннего катагенеза.

Инженерно-геологические особенности отложений открытого моря мелководной зоны шельфа

Комплекс морских мелководных отложений представлен тремя основными литологическими типами пород: 1) алевритистыми глинами; 2) линзовидно-переслаивающимися алевритами, тонкозернистыми глинистыми песками и сильнопесчанистыми глинами; 3) слабоцементированными алевритами (цементированные аналоги пород второго литологического типа).

Литологический тип пород. Минералого-петрографические особенности этих пород во многих чертах близки к глинистым отложениям более глубоководных зон бассейна. Однако они имеют ряд отличительных особенностей, обусловивших их физико-механические свойства.

Прежде всего они характеризуются неоднородными макро- и микро-текстурами за счет включения гнезд, линз и невыдержанных прослоев тонкозернистого песка и алеврита.

Минералого-петрографическое изучение шлифов показало, что алевритовый и тонкопесчаный материал распределен в породе неравномерно, образуя прослои, линзы или сгустковые скопления. В шлифах хорошо прослеживаются скопления органического вещества и пирита, обычно ориентированные по микрослоистости.

В тонкодисперсной фракции пород преобладают минералы типа каолинита, сопутствующими являются гидрослюда и монтмориллонит. Породы неизвестковистые: содержание карбонатов не превышает 1%, аморфного кремнезема выражается сотыми долями процента, иногда достигает 1,5%.

Результаты гранулометрических анализов позволяют отнести их (согласно классификации И. М. Горьковой [1970]) к смешанным пылевато-глинистым или песчано-глинисто-пылеватым породам.

По физическому состоянию морские мелководные породы относятся к группе скрытопластичных глин. Естественная влажность ($W = 20-23\%$) превышает нижнюю границу пластичности ($W_p = 15-19\%$). Показатель уплотненности K_d меньше 1.

Показатели прочности этих пород, полученные при исследовании образцов небольших размеров, обычно используемых при стандартных испытаниях на сдвиг, компрессию, одноосное сжатие, несколько ниже, чем для пород тугопластичной консистенции, отложившихся в более глубоких участках моря. Так, предел прочности при одноосном сжатии составляет 0,6—1,0 МПа. Породы среднесжимаемые, с относительно невысокими показателями сопротивления сдвигу. В процессе компрессионных испытаний они начинают обжиматься при нагрузках 0,025—0,03 МПа. Модуль осадки при нагрузках 0,8 МПа составил 38—39 мм/м, средний коэффициент сжимаемости при нагрузках от 0,1 до 0,3 МПа — тысячные доли см²/МПа. После разгрузки образцы не полностью восстанавливают свой первоначальный объем. Для них характерны необратимые деформации с возрастанием пластической прочности P_m от 1,2—1,3 до 1,5—2,0 МПа. При нормальных нагрузках в 0,1; 0,3; 0,5 и 0,8 МПа образцы пород оказывали сопротивление сдвигу, соответственно равное 0,12—0,15; 0,19—0,28; 0,23—0,37; 0,42—0,46 МПа.

Песчаные линзы и прослои, характерные для этой толщи пород, сильно снижают ее прочность. Предел прочности при одноосном сжатии образцов, включающих песчаные прослои, падает до 0,05—0,3 МПа.

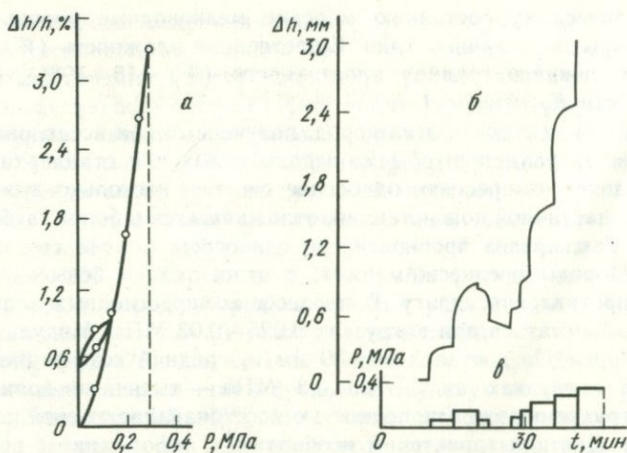
В большом интервале напряжений, от самых малых нагрузок до разрушающих, породы проявляют пластические деформации с разрушением структуры и характеризуются прогрессирующей ползучестью. Модуль упругости и модуль общей деформации характеризуются относительно невысокими величинами, соответственно равными $3,2 \cdot 10-9,5 \cdot 10$ и $0,76 \cdot 10-4,6 \cdot 10$ МПа (рис. 12).

Характер взаимодействия пород с водой также определяется их неоднородностью. Величины набухания отдельных образцов сильно различались и изменялись от 0,5 до 11,8% в зависимости от содержания в них песчаных линз и прослоев. При взаимодействии с водой образцы пород распадались по песчаным линзам и прослоям.

И литологический тип пород. Минералого-петрографическое изучение шлифов показало, что эти породы представлены песчано-глинистыми алевритами и состоят в основном из угловато-окатанных и угловатых алевритовых и мелкопесчаных зерен кварца (до 90%) с примесью обломков кремнистых пород и зерен полевых шпатов и глауконита. К глинистым участкам породы приурочены скопления органического вещества и мелких зернышек пирита алевритовых размеров.

Результаты granulометрических анализов свидетельствуют о том, что рассматриваемые породы в основной своей массе состоят из грубодисперсных инертных составляющих, представленных фракциями тонко- и мелкозернистого песка и пыли (60—80%). Присутствует также поверхностно-активная тонкодисперсная фракция (11—16%).

Породы известковистые, содержание солей карбонатов не превышает 0,7%. Тонкодисперсная часть в основном представлена глинистыми минералами — каолинитом и гидрослюдами. Естественная влажность несколько ниже границы текучести ($W_f = 26-34$), но значительно выше величины



Р и с. 12. Кинетика развития деформаций одноосного сжатия во времени при ступенчатом нагружении для морских мелководных глин (глины с прослоями песка)

а — зависимость относительной деформации от нагрузки; *б* — изменение абсолютной деформации во времени; *в* — изменение нагрузки во времени

максимальной «молекулярной» влагоемкости, которая изменяется в пределах 5—17%. Величина естественной влажности составляет 18—28%. Очень малая величина гигроскопической влажности (не превышает 1,5%) свидетельствует о том, что большая часть воды в породе находится в свободном и рыхлосвязанном состоянии, в виде иммобилизованной в порах структуры.

Породы характеризуются слабой водопроницаемостью и плохой водоотдачей. Величина коэффициента фильтрации, определенная в трубках «Спецгео», изменялась от 0,001 до 0,45 м/сут, водоотдача — от долей процента до 10%. При высыхании они не обнаруживают усадки, практически не набухают, в воде очень быстро распадаются, образуя устойчивую суспензию. В естественном состоянии благодаря присутствию высокоактивной тонкодисперсной составляющей при влажности ниже границы текучести породы обладают небольшим структурным сцеплением. Предел прочности при одноосном сжатии изменяется от 0,05 до 0,4 МПа. Но при механическом воздействии в результате нарушения структурных связей и высвобождения иммобилизованной воды они теряют связность и оплывают. Дополнительное увлажнение также вызывает нарушение их связности и оплывание.

Таким образом, породы такого типа можно охарактеризовать как склонные переходить в пльвунное состояние под действием малых напряжений. Под влиянием различных механических воздействий, вибраций, дополнительного увлажнения породы теряют связность и текут с весьма малой постоянной вязкостью. Слабая водопроницаемость и большая водоудерживающая способность затрудняют их осушение. При высыхании они сильно увеличивают прочность, но водостойкости не приобретают [Коробанова, 1970б].

III литологический тип пород. Распространен он в пределах сводовой части Воронежской антеклизы, а также на ее юго-западном и южном склонах и залегает на глубинах 100—350 м.

Породы отличаются высоким содержанием карбонатов (до 29%) и аморфного кремнезема (до 20%), обеспечивающих цементацию песчано-

алевритовых частиц. Наличие прочных и водостойких цементационных связей определяет их инженерно-геологические особенности.

По водным свойствам, прочности и деформационному поведению они в естественном состоянии (с ненарушенным сложением) приближаются к аргиллитоподобным глинам и обладают высокой прочностью, слабой деформируемостью и водостойкостью. Предел прочности при одноосном сжатии изменяется от 1,9 до 3,5 МПа, но иногда достигает 5,4 МПа. В воде образцы пород практически не набухают и сохраняют высокую прочность. Так, например, показатели прочности при одноосном сжатии для образцов, помещенных в воду на несколько суток, снижались до 5,0 МПа против 5,4 МПа для исходных образцов. При этом влажность возрастала всего на 1—2%, изменяясь от 33—35 до 35—36%.

Характеристика деформационного поведения таких пород, полученная по методу одноосного сжатия со ступенчатым приложением нагрузок, свидетельствует о том, что в большом интервале напряжений, вплоть до разрушающих нагрузок, породы обнаруживают ничтожно малые величины деформаций главным образом упругого характера. Модули упругости и общей деформации достигают больших величин и соответственно составляют $8,4 \cdot 10$ и $7,7 \cdot 10$ МПа.

Таким образом, условия седиментации и постседиментационное изменение морских мелководных отложений способствуют формированию малопрочных неводостойких глин, ослабленных песчаными линзами и прослоями, водонасыщенных, пльвунных песчано-глинистых алевритов и их сцементированных аналогов — прочных водостойких алевролитов.

Инженерно-геологические особенности прибрежно-морских отложений

В комплексе морских прибрежных отложений преобладают пески глауконитово-кварцевые, мелко- и тонкозернистые, часто пылеватые, местами глинистые, иногда с маломощными прослоями вязкопластичных глин. Встречаются прослойки разнозернистых песков и песчаников. Песчаники известковистые, довольно прочные и водостойкие. Предел прочности их при одноосном сжатии колеблется от 0,8 до 7,0 МПа. В воде они, как правило, сохраняют высокую прочность. Несмотря на то что содержание в породах тонкодисперсной фракции незначительно (2—10%), ее высокая активность оказывает существенное влияние на свойства пород, сообщая им некоторую гидрофильность, высокую подвижность, водоудерживающую способность и снижая водопроницаемость.

Рассматриваемые отложения находятся в водонасыщенном состоянии. Естественная влажность их ($W = 16—35\%$) близка к полной влагоемкости. Величины полной влагоемкости, определенные экспериментальным путем, составили 17—37%.

Породы большей частью слабоводопроницаемые (коэффициенты фильтрации обычно не превышают 5 м/сут) и обладают относительно высокой водоудерживающей способностью. Относительно невысокие величины водоотдачи, часто составляющие примерно 30% естественной влажности, свидетельствуют о большой остаточной влажности и характеризуют пески как трудноосушаемые. Но в толще пород встречаются отдельные прослойки хорошо отсортированных промытых песков, которые отличаются более высокой водопроницаемостью ($K_{\phi} = 6—15$ м/сут) и достаточно хорошей водоотдачей.

Т а б л и ц а 4

Разжижаемость и склонность к восстановлению прочности во времени прибрежно-морских песков

Прочность по конусу Ребиндера, МПа			P_{m_0}/P_{m_p}
Образцы с естественной структурой P_{m_0}	Образцы, подвергнутые вибрации P_{m_p}	Образцы, подвергнутые вибрации с последующим выдерживанием в гидраторе в течение суток	
0,17	0,05	0,11	3,4
0,05	0,02	0,05	2,5
0,07	0,04	0,08	1,7
0,05	0,02	0,05	2,5
0,12	0,06	0,10	2,0
0,19	0,11	0,15	1,7
0,07	0,06	0,07	1,2
0,15	0,04	0,10	3,8

Породы обладают ничтожно малым (практически близким к 0) межчастичным сцеплением. Они легко разжижаются и оплывают при очень малых разрушающих напряжениях. Разжижение и оплывание происходят в результате механического воздействия, при вибрации и под влиянием фильтрационного потока. Предельное напряжение сдвига образцов с условно-ненарушенной структурой, определенное на сдвиговом приборе, близко к 0. В области напряжений, меньших предела прочности, наблюдается быстрое затухание деформаций в результате дилатантного упрочнения. При напряжениях, больших предела прочности, происходит хрупкое разрушение структуры.

Склонность пород к разжижению и оплыванию под влиянием вибрации, нарушения структуры, а также в результате увеличения влажности изучалась с помощью конического пластометра Ребиндера. Результаты испытаний показали, что прочность пород падает под действием вибрации (табл. 4). В результате нарушения межчастичных связей и высвобождения иммобилизованной воды происходит снижение прочности пород в 2—4 раза. При взаимодействии с водой образцы песчаных пород теряют связность и быстро распадаются на отдельные песчинки или агрегаты.

Опыты показали, что большинство исследованных образцов подвержены механической суффозии. При критических градиентах фильтрационного потока, равных 0,5—9, они, как правило, полностью разжижаются.

Песчаные породы способны к восстановлению ничтожно малой прочности во времени за счет процессов самопроизвольного уплотнения и синерезиса с отделением воды. Пределы прочности образцов (определенные конусом Ребиндера), предварительно разжиженных в результате механического воздействия и при выдерживании их в гидраторе в течение двух суток, возрастали в 2—5 раз, почти полностью восстанавливаясь до прочности исходных образцов (до разжижения) (см. табл. 4).

Результаты реологических исследований показали, что нарушенные структуры водонасыщенных мелкопесчаных пород характеризуются весьма низкими величинами условного динамического предела текучести ($P_{k-2} = 1,24 \cdot 10^{-4}$ МПа) и предела прочности ($P_{m_i} = (4-3) \cdot 10^{-4}$ МПа), а также

малыми величинами наименьшей вязкости предельно нарушенных структур ($\eta_m = 12-70$ Па · с). Предел текучести P_{k-1} и начальная вязкость η_0 для таких пород не могут быть измерены в вискозиметре, так как они сильно дилатантно упрочняются в процессе деформации. После достижения предельной деформации наступает хрупкий срыв контактов между зернами и порода разжижается. Восстановление диспергационных структур происходит почти одновременно со снятием напряжения, а для прослоев, отличающихся относительно высоким содержанием тонкодисперсных составляющих, наблюдается некоторый гистерезис в восстановлении структуры.

И. М. Горькова [19566] характеризует такие водонасыщенные мелкопесчаные породы как дилатантные, склонные к внезапному разжижению. Для пород с таким составом и свойствами характерна склонность к внезапному обрушению и оплыванию в откосах.

Локальная цементация прибрежно-морских песчаных пород происходит за счет осаждения преимущественно карбонатных, реже органических междузерновых цементов, определивших значительную прочность и водостойкость литифицированных прослоев (до 7,0 МПа). Причины локальной литификации и сокращения пористости цементированных пород связаны с их геохимическими преобразованиями, а не с геостатическим давлением.

Отсутствие четкой зависимости пористости от уплотняющего давления для песчано-алевритовых пород подчеркивается многими авторами [Уэллер, 1961; Энгельгардт, 1964; и др.].

Таким образом, седиментационные условия прибрежно-морских отложений способствовали формированию главным образом мелкопесчаных водонасыщенных пород, склонных к дилатансии, пльвунности и механической суффозии.

Среди катагенетических изменений, оказавших влияние на инженерно-геологические свойства этих пород, отметим локальную цементацию, способствующую образованию прослоев карбонатных, реже битуминозных песчаников.

Инженерно-геологические особенности озерно-болотных отложений

Континентальные отложения района представлены озерными и озерно-болотными фациями, местами переходящими в отложения речного аллювия. Условия их формирования способствовали накоплению в озерных бассейнах высокообводненных органоминеральных песчано-коллоидальных отложений, обладающих свойствами истинных пльвунов (слабым межчастичным сцеплением, высокой подвижностью и склонностью к текучести в большом интервале влажности и при малых напряжениях), и весьма неоднородных в текстурном отношении глин, характеризующихся большой пестротой физико-механических свойств и ослабленных песчаными линзами и прослоями.

Вторичные постседиментационные изменения выражаются в усилении синергетической и гравитационной дегидратации, в уплотнении и упрочнении пород, в дегидратации, старении и изменении состава и содержания органических и органоминеральных коллоидов по мере увеличения мощности осадочного чехла и интенсификации катагенеза.

На территории района озерно-болотные отложения представлены двумя основными литологическими типами: 1) глинами тонкопесчанистыми,

алевритистыми, с прослоями и линзами тонкозернистого песка, темно-серыми, гумусированными и 2) песками тонко- и мелкозернистыми, гумусированными, с линзами и прослоями глин.

I литологический тип пород. Содержание сохранившегося органического вещества в породах этого типа согласно данным химических анализов достигает 6%. Органическое вещество хорошо наблюдается при микроскопическом изучении шлифов и при электронно-микроскопических исследованиях. Оно присутствует в породах как в тонкорассеянном виде, так и в виде прожилков, скоплений, пропластков и обугленных растительных остатков.

Из диагенетических новообразований в породах содержатся карбонатные конкреции и сульфиды, особенно характерен пирит. Закисное легкоподвижное железо составляет 2,2—2,4% при общем содержании реакционно-способного железа 2,3—2,5%. В озерно-болотных отложениях каолинит присутствует постоянно и в гораздо больших количествах, чем в морских отложениях. Присутствие в породах органических и органоминеральных коллоидов обуславливает относительно высокую физико-химическую и коллоидальную активность тонкодисперсных фракций пород. Величины емкости поглощения составили 10—14 мг-экв, что в пересчете на фракцию <10 мкм равняется 31—41 мг-экв. Физико-механические свойства озерных и озерно-болотных глинистых отложений определяются степенью их уплотненности и дегидратированности (концентрацией твердой фазы), содержанием органического вещества и количеством песчаных линз и прослоев.

В результате вторичных катагенетических преобразований озерные глинистые отложения района изменяются от среднеуплотненных, тугопластичных в северных и восточных частях территории до сильноуплотненных, дегидратированных и упрочненных битуминозных пород, сцементированных органическими и органоминеральными коллоидами, в южных частях территории.

Среди глинистых озерно-болотных отложений можно выделить два инженерно-геологических вида пород: а) породы сильноуплотненные и дегидратированные; б) породы средней степени уплотнения и дегидратации.

Сильноуплотненные глинистые, местами битуминозные породы развиты в южной части территории КМА, в пределах Белгородского железорудного района. Залегают они на больших глубинах (270—350 м) и испытывают высокие геостатические нагрузки, характеризуются относительно высокой степенью уплотнения и литификации, невысокой относительной влажностью и полутвердой консистенцией. Естественная влажность пород (20—24%) несколько ниже границы раскатывания (24—29%); показатель уплотненности K_d больше 1 (1,03—1,51); показатель консистенции β имеет отрицательную величину.

Глинистые породы средней степени уплотнения и дегидратации, развитые в пределах северной и восточной частей территории (Михайловское, Старооскольское и Новооскольское месторождения), залегают на глубинах от 25 до 180 м и испытывают меньшие геостатические нагрузки. Они меньше уплотнены и дегидратированы.

Породы этого вида отличаются более высокими величинами относительной влажности, меньшей уплотненностью и находятся в скрытопластичном состоянии. Естественная влажность их ($W = 26—31$) превышает границу раскатывания ($W_p = 19—24$), но значительно ниже границы текучести

($W_1 = 32-34$). Показатель уплотненности K_d меньше 1, показатель консолидации β больше 0.

Прочностные характеристики пород находятся в соответствии с их физическим состоянием (концентрация твердой фазы), с содержанием органического вещества и степенью опесчаненности. Сильноуплотненные и дегидратированные породы имеют более высокие показатели прочности. Наибольшей прочностью отличаются битуминозные разности глин. Дегидратированные в процессе литификации органические и органоминеральные коллоиды цементируют породы, повышая их прочность до 2,6 МПа. Образцы глинистых пород тугопластичной консистенции второго вида характеризуются пределом прочности при одноосном сжатии порядка 0,2—0,5 МПа.

Макротекстурная неоднородность, наличие песчаных линз и прослоев снижают показатели физико-механических свойств массива этих пород и затушевывают вертикальную зональность в распределении инженерно-геологических типов пород. Наименьшие показатели прочности (0,05—0,2 МПа) имеют образцы пород (как первого, так и второго вида), содержащие песчаные линзы и прослои. Такие породы оказались неводостойкими: при погружении образцов пород в воду они быстро распадались по песчаным прослоям на отдельные.

Таким образом, песчаные линзы и прослои способствуют ослаблению толщи пород в целом, снижают ее водостойкость и, следовательно, ухудшают инженерно-геологические качества пород.

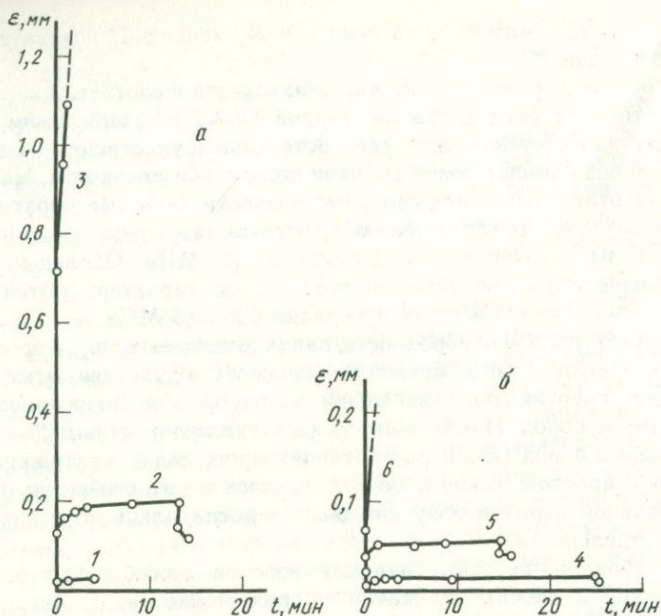
Литологический тип пород. В составе пород этого типа, как правило, преобладают фракции тонкого и мелкого песка, значительный процент составляют фракции крупной пыли. Содержание активной тонкодисперсной составляющей ($< 0,005$ мм) обычно около 5—17%.

Результаты химических анализов показывают, что содержание органического углерода в породах невелико (0,2—0,4%), но в пересчете на глинистую фракцию оно возрастает до 2—5%. Такое содержание высокогидрофильных органических коллоидов при низкой минерализации порового раствора (величины сухого остатка водных вытяжек выражаются сотыми долями процента, общая минерализация поровых вод и водоносного горизонта не превышает 1,6 г/л) оказывает пластифицирующее влияние, обеспечивает стабилизацию глинистых фракций и их высокую физико-химическую и коллоидальную активность. Коэффициенты агрегированности глинистых фракций $< 0,005$ мм, равные 1,9—2,2, свидетельствуют о слабых пластифицированно-коагуляционных структурных связях в породах [Горькова, 1965].

Выполненный комплекс исследований позволил отнести прибрежно-озерные отложения этого типа к дилатантным, склонным к внезапному разжижению и оплыванию при очень малых разрушающих напряжениях [Коробанова, 1970б].

В отличие от меловых песков прибрежно-морского генезиса озерные песчаные отложения разжижаются при несколько больших величинах разрушающего напряжения — $8 \cdot 10^{-3}$ — $16 \cdot 10^{-2}$ МПа. Но они обладают текучими свойствами в большем диапазоне влажности и сохраняют текучее состояние некоторое время после снятия напряжения. По своим свойствам и деформационному поведению такие породы приближаются к истинным плывунам (рис. 13).

В районе Михайловского месторождения аналогичные озерные песчаные отложения были изучены И. М. Горьковой [1956б] и охарактери-



Р и с. 13. Кинетика развития деформаций сдвига при $P = \text{const}$ для озерных песков J_2bt

Пески: а — прибрежно-озерные, б — озерные

Значения P (в МПа): 1 — $8 \cdot 10^{-4}$; 2 — $6 \cdot 10^{-3}$; 3 — $8 \cdot 10^{-3}$; 4 — $4 \cdot 10^{-3}$; 5 — $13 \cdot 10^{-2}$; 6 — $16 \cdot 10^{-2}$

зованы ею как органоминеральные песчано-коллоидные породы, обладающие свойствами истинных пльвунов.

Особенности таких органоминеральных песчано-коллоидных пород обуславливают специфику их физико-механических свойств: малое межчастичное сцепление и вязкость, высокую деформируемость и текучесть, пластичность, тиксотропность, малые водопроницаемость и водоотдачу, большую вододерживающую способность и малую прочность диспергационных структур. Породы обладают устойчивой легкоподвижностью в значительном интервале влажности, т. е. проявляют свойства истинных пльвунов. Нарушение структуры и разжижение могут быть вызваны вибрацией, деформацией сдвига, увлажнением, гидродинамическим давлением. Благодаря мелкочесчаному составу и слабому межчастичному сцеплению они склонны к суффозии. Слабая водоотдача и плохая водопроницаемость затрудняют их осушение.

Закономерности формирования инженерно-геологических свойств пород терригенной мезозойской формации района

Анализ полученных нами материалов позволил установить общие седиментационные признаки и постседиментационные изменения, определившие инженерно-геологические свойства пород терригенной мезозойской формации района.

Несмотря на пестроту фаций, входящих в состав терригенной мезо-

зойской формации, в ней легко подметить ряд характерных седиментационных петрографических признаков, определивших инженерно-геологические особенности пород. Это — преобладание тонкодисперсных глин, алевритов, тонко- и мелкозернистых песков главным образом кварцевого состава в песчано-алевритовой части.

В терригенных мезозойских отложениях района глинистые минералы образуют целый ряд ассоциаций, связанных с фациальными и петрографическими типами пород, с типом формации, с характером и интенсивностью постседиментационных изменений. Распределение основных глинистых минералов — гидрослюда, каолинита, монтмориллонита, смешанослойных образований — изменяется по разрезу и зависит прежде всего от областей сноса и условий осадконакопления. Повсеместное развитие аллотигенного каолинита в изученных породах связано с гумидным характером выветривания на окружающих водосборах. Встречаются углистые примазки и скопления углефицированных растительных остатков. Не менее характерны отсутствие скоплений легко- и среднерастворимых солей (NaCl , CaSO_4 и др.), слабая минерализация поровых растворов и вод водоносных горизонтов, приуроченных к песчаным толщам пород, и преимущественно гидрокарбонатно-кальциевый их состав.

Фациальный контроль определил условия седиментации и отразился в литологических комплексах пород, прежде всего в распределении гранулометрических и минералогических типов осадков в соответствии с законом механической дифференциации.

Отложения, сформировавшиеся в глубоководной зоне шельфа, на глубинах моря около 200 м, представлены высокодисперсными сероцветными глинами.

Условия мелководного шельфа (глубины моря — десятки метров) способствовали накоплению литологически невыдержанной толщи пород, среди которых преобладают тонко- и мелкопесчанистые или алевритистые глины, мелко- и тонкозернистые глинистые пески, тонкопесчанистые алевриты с микролинзовидными текстурами и их сцементированные аналоги (алевролиты слабой крепости), а также высокодисперсные глины с частыми прослоями и линзами тонко- и мелкозернистых песков.

В прибрежно-морских условиях накапливалась толща тонко- и мелкозернистых водонасыщенных песков с прослоями глин, песчаников и разнозернистых песков.

Отложения, сформировавшиеся в озерно-болотных условиях, представлены битуминозными глинами с прослоями тонкозернистого песка или алеврита и толщей тонко- и мелкозернистых алевритистых песков с примесью высокодисперсных фракций. Для этих пород характерно большое количество гумусовых и органоминеральных коллоидов и полуразложившихся растительных остатков, образовавшихся в условиях медленного и неполного разложения органического вещества при избыточном увлажнении.

В изученных породах выделены специфические парагенезы глинистых минералов, связанные с фациальным типом отложений. В высокодисперсных глинистых отложениях глубоководной зоны шельфа содержится значительно больше минералов типа монтмориллонита и смешанослойных фаз, тогда как высокие концентрации аллотигенного каолинита характерны для мелководных и прибрежных фаций терригенной гумидной формации мезозоя.

Седиментационные признаки пород определили их физико-механические свойства. Так, например, отложения глубоководной зоны шельфа обладают физико-механическими свойствами, характерными для глинистых пород. Для толщ песчаных отложений характерна склонность к пльвунным деформациям и механической суффозии. Среди седиментационных признаков, определивших современный инженерно-геологический облик озерно-болотных отложений, следует отметить прежде всего высокое содержание органического вещества. В формировании физико-механических свойств этих пород важная роль принадлежит органическим и органоминеральным коллоидам, которые могут являться как естественными пластификаторами, способствуя проявлению пльвунности водонасыщенных песчано-коллоидных пород, так и адгезивами, цементирующими и упрочняющими глинистые породы. Многочисленные песчаные линзы и прослои, характерные для этого комплекса пород, ухудшают физико-механические свойства толщи — снижают ее прочность, повышают деформируемость и размокаемость.

Для сходных фациально-литологических типов пород решающая роль в формировании их инженерно-геологических свойств принадлежит постседиментационным преобразованиям, выражающимся в аутигенном минералообразовании, перераспределении вещества, уплотнении, обезвоживании, цементации и упрочнении пород.

На окислительном этапе диагенеза возникают аутигенные гидроокислы железа, которые сохранились в глинистых породах мезозоя в виде рассеянных и сгустковых скоплений. В глинисто-алевритовых породах наблюдается перераспределение гидроокислов железа, образование пленочных, поровых и сгустковых железистых цементов.

Высокое содержание органического вещества в иле мезозойских водоемов в условиях гумидного литогенеза способствовало интенсивным процессам редукции железа, что обусловило накопление в больших количествах диагенетических минералов с закисными формами железа и псевдоморфоз по органическому веществу. Диагенетический этап перераспределения вещества оставил в мезозойских отложениях района громадное количество конкреционных образований сульфидного и кремнистого состава.

Среди геохимических преобразований, оказывающих влияние на формирование инженерно-геологических свойств пород мезозоя, наиболее существенными являются вторичное окремнение, карбонизация и углефикация органического вещества. Все эти процессы и преобразования пород ускоряются и усиливаются по мере увеличения мощности осадочного чехла и интенсификации катагенеза.

Основная роль в формировании парагенезов глинистых минералов в отложениях мезозоя принадлежит продуктам денудации, состав которых определяется типом коры выветривания в области водосбора. Однако анализ минеральных ассоциаций, как и отдельных глинистых минералов, приводит к выводу о значительной роли аутигенного постседиментационного минералообразования в изученных отложениях мезозоя. В глинах мезозоя озерно-болотного генезиса, содержащих значительные количества $C_{орг}$, наблюдается присутствие диагенетического упорядоченного каолинита, образовавшегося в условиях избыточного обводнения пород в присутствии большого количества растительного гелефицированного детрита.

Для минералов типа гидрослюд, распространенных повсеместно и в различных фациальных и петрографических типах изученных пород мезо-

зоя, подмечены отчетливые черты их вторичных изменений. На юго-западе территории гидрослюда приобретает хорошую окристаллизованность и слабую гидратированность. Гидрослюды аргиллитоподобных глин отличаются наиболее отчетливыми очертаниями и совершенством структуры. Частицы гидрослюды глинистых пород из северо-восточных районов обладают агрегатностью и размытыми очертаниями. Для гидрослюды зоны выветривания характерны наибольшая степень гидратации и слабая окристаллизованность [Коробанова, 1970б]. Изменение состава глинистых минералов в связи с интенсификацией постдиагенетических процессов выражается также в увеличении количества хорошо окристаллизованных малогидратированных аутигенных гидрослюды и смешанослойных образований с большим содержанием стабильной фазы за счет снижения минералов типа монтмориллонита и смешанослойных фаз с большим содержанием разбухающих компонентов, а также в связи с деградацией монтмориллонита. Такие изменения в минеральном составе глинистых фракций отражаются на степени гидрофильности пород и, следовательно, на их инженерно-геологических свойствах.

Катагенетические изменения органического вещества в породах мезозоя выражаются в битуминизации, в снижении гидрофильных и повышении гидрофобных его составляющих, обладающих клеящей способностью и участвующих в литификационном упрочнении пород.

Характер и интенсивность постседиментационных изменений инженерно-геологических свойств пород мезозойской терригенной формации не однозначны. При сравнении разновозрастных отложений сходных петрографических типов и фаций с одинаковых глубин залегания оказалось, что границы между породами, находящимися на разных этапах изменения, проходят на различных стратиграфических горизонтах (мезозойская система) и связаны, таким образом, не с геологическим возрастом, а с мощностями осадочного чехла.

В связи с интенсивным погружением Днепровско-Донецкой впадины наиболее сильное опускание испытали породы, находящиеся в южной и юго-западной частях исследованного района. Максимум прогибания на юге и юго-западе территории отражен в развитии здесь больших мощностей верхнего мела и палеогена и в последовательной смене областей с различной интенсивностью катагенеза с северо-востока на юго-запад. Границы между областями пород с различной интенсивностью постдиагенетических изменений совпадают с изолиниями равных глубин залегания и равных мощностей, так как все эти границы определяются тектоническим строением и развитием региона. На северо-востоке территории, в пределах Орловской области, в верхнемеловую эпоху район испытывал небольшое поднятие. Здесь при современном залегании отдельные стратиграфические горизонты мезозойских пород были выделены в зону гипергенеза и подверглись процессам разгрузки и активного выветривания.

Характер и темп катагенетических преобразований пород мезозоя контролируются фаціальными условиями, и, следовательно, катагенетические изменения инженерно-геологических свойств в значительной степени определяются их первичным химико-минеральным и гранулометрическим составом. Влияние постдиагенетических преобразований на формирование свойств пород наиболее отчетливо прослеживается для морских глинистых отложений глубоководной зоны шельфа. Поэтому выделение границ этапов раннего

категенеза и зональных инженерно-геологических изменений пород мы проводили по результатам исследований именно этих пород.

Различные условия залегания глинистых пород глубокоководной зоны шельфа в пределах ряда геоструктурных элементов Русской платформы (Воронежская антеклиза, ее южный склон, переходящий в северный склон Днепровско-Донецкой впадины) отражаются в нарастании интенсивности постдиагенетических изменений пород, связанных с увеличением мощности осадочного чехла и последовательной сменой областей с различной интенсивностью катагенеза.

На большой площади от г. Кромы до г. Харькова наблюдается постепенное нарастание интенсивности литификационного уплотнения и упрочнения пород и последовательная смена областей с различной интенсивностью изменений физико-механических свойств.

Основными постседиментационными процессами, формирующими инженерно-геологические качества глинистых пород мезозоя, следует считать дегидратацию, уплотнение и цементацию, а для пород, выведенных в зону гипергенеза, — разгрузку и активное выветривание.

На глубинах, превышающих 200—300 м, наблюдается отжатие большей части свободной и энергетически слабосвязанной воды. Здесь значительная роль в упрочнении пород принадлежит процессам цементации. Происходит дальнейшее упрочнение структурных связей, меняется их характер. Слабые молекулярные связи коагуляционного характера сменяются более прочными ионными и ковалентными связями цементационного характера. На таких глубинах происходит интенсивное геохимическое взаимодействие твердой фазы с поровыми растворами, возрастает роль процессов цементации и формируются участки локального окремнения и карбонизации. Образовавшиеся от растворения кремнистых и известковистых органических остатков аморфный кремнезем и карбонаты в результате геохимических преобразований и диффузной импрегнации перераспределялись с образованием зон и прослоев цементации. Изменение минерального состава пород с увеличением глубины их залегания в сторону количественного снижения минералов типа монтмориллонита и возрастания гидрослюд позволяет считать, что локальное окремнение может быть, в частности, связано также с высвобождением некоторого количества кремнезема при переходе монтмориллонита в гидрослюду [Тов1, 1962; Карпова, 1967; Дэпплес, 1971].

Прослой локального окремнения глинистых пород мезозоя характеризуются повышенным содержанием растворимого в щелочах кремнезема и карбонатов (до 10, иногда 20%), ярко выраженным цементационным характером структурных связей и весьма высокой прочностью (до 5,5 МПа), упругостью и водостойкостью.

В ходе литогенеза соответственно степени развития процессов уплотнения, обезвоживания и цементации породы последовательно приобретают различные качественные характеристики физического состояния, прочностных свойств, деформационного поведения и водостойкости. Они изменяются от малопрочных, сильно деформирующихся глин с коагуляционным характером структурных связей до прочных, водостойких, слабодеформирующихся аргиллитоподобных глин, обладающих цементационным характером структурных связей. В соответствии с такими изменениями были выделены четыре зоны литификации и четыре инженерно-геологических типа пород.

Общая направленность изменений инженерно-геологических свойств,

установленная для глинистых пород глубоководной зоны шельфа и связанная с увеличением мощности осадочного чехла и интенсификацией катагенеза, справедлива также для глинистых озерно-болотных и морских отложений мезозоя мелководной зоны шельфа. Однако закономерности, установленные для морских глин глубоководной зоны шельфа, для морских мелководных и озерно-болотных глинистых отложений проявляются недостаточно четко. Многочисленные линзы и прослои песчано-алевритового материала, характерные для этих пород, затушевывают, а иногда и нарушают общую направленность изменения физико-механических свойств.

В формировании инженерно-геологических свойств озерно-болотных глинистых отложений большую роль играют изменения в групповом составе органического вещества, связанные с увеличением мощности осадочного чехла и интенсификацией катагенеза.

Для глинистых пород, залегающих в зоне с небольшой интенсивностью катагенетических изменений, характерны гидрофильные формы органических и органоминеральных коллоидов (играющих роль естественных пластификаторов), способствующие повышению физико-химической активности глинистых пород и ухудшению их инженерно-геологических качеств. По мере возрастания мощности осадочного чехла и интенсификации катагенеза происходят изменения в групповом составе органического вещества, направленные на увеличение содержания гидрофобных его форм, играющих роль естественных адгезивов и участвующих в формировании цементационных структурных связей в породах, что способствует их упрочнению и улучшению инженерно-геологических качеств.

На Русской платформе в районе КМА песчано-алевритовым отложениям мезозоя свойствен несколько иной характер вторичных преобразований инженерно-геологических свойств. Водонасыщенные, обладающие ничтожно малым межчастичным сцеплением, склонные к пльвунности и механической суффозии, эти породы в ходе вторичных изменений преобразуются в их цементированные аналоги, прочные (предел прочности достигает 5,0—7,0 МПа), водостойкие кремнистые, известковистые или битуминозные песчаники и алевриты.

Основными факторами постседиментационных преобразований песчано-алевритовых пород являются гравитационное давление и характер поровых растворов. А основными процессами, формирующими их современный инженерно-геологический облик, являются геохимическое взаимодействие пород и поровых растворов, физико-химические преобразования коллоидно-дисперсной составляющей — синерезис, старение и кристаллизация коллоидов. Гравитационное уплотнение и дегидратация также имеют, по-видимому, место, но выражены незначительно. Причинами локальной литификации песчано-алевритовых пород являются геохимические преобразования, а не геостатическое давление.

Четкой зависимости степени уплотненности от уплотняющего давления для этих пород не наблюдается. Литификация их происходит за счет синергической дегидратации, старения и кристаллизации коллоидно-дисперсной составляющей, что обеспечивает усиление контактных взаимодействий, сцепление и цементацию песчано-алевритовых зерен глинистым цементом. Такие породы могут образовывать достаточно рыхлую структурную сетку и сохранять свободную иммобилизованную воду в порах структурного каркаса. Если такая цементация не сопровождается осаждением дополнительного ми-

нерального вещества, породы приобретают лишь небольшую прочность, но остаются неводостойкими. Породы склонны к разжижению и плавунности при нарушении слабых структурных связей и к тиксотропному или синергетическому упрочнению во времени. При дальнейшем погружении и эволюции упрочнение и уплотнение песчано-алевритовых пород мезозоя осуществляются за счет замещения глинистого цемента кальцитом или аморфным кремнеземом или за счет осаждения этих веществ в поровом пространстве. Локальная цементация этих пород может происходить также за счет осаждения железистого или органического междузернового цемента. Для морских песчано-алевритовых пород характерны карбонатные или кремнистые цементы. В песчано-алевритовых отложениях озерно-болотных фаций формируются битуминозные и железистые песчаники и алевролиты.

Привнос цементующего материала происходит поровыми растворами, отжимающимися при уплотнении нижележащих глинистых пород и мигрирующими в более проницаемые песчано-алевритовые прослои. Мы полагаем, что главным источником этих растворов служили уплотняющиеся глинистые осадки мезозоя и карбона, из которых в течение геологических периодов в погружающийся осадочный комплекс пород поступали большие количества поровых вод. Поток растворов, образовавшихся в результате уплотнения глин, двигался прямо вверх, поскольку он возник в результате действия гравитационных сил, направленных вниз.

Интенсификация катагенетических изменений в связи с увеличением мощности осадочного чехла выражается в усилении процессов цементации пород в направлении с севера и северо-востока на юг и юго-запад по мере погружения пород. Такие изменения происходят в результате более глубокого захоронения пород на южном и юго-западном крыльях антиклизы, где среди песчано-алевритовых отложений широкое развитие получили зоны и прослои прочных водостойких алевролитов и песчаников.

Несмотря на различную интенсивность вторичных изменений, породы мезозоя, залегающие в платформенных условиях, претерпевают только начальные катагенетические преобразования. Об этапе начального катагенеза пород мезозоя свидетельствует наличие слабо измененного глинистого вещества (зона неизмененного глинистого цемента по А. Г. Коссовской [1960], Н. В. Логвиненко [1968], Г. В. Карповой [1967] и др.) и развитие рыхлых и слабо сцементированных пород. Даже аргиллитоподобные глины, песчаники и алевролиты не несут никаких следов глубинно-катагенетических преобразований. Интенсивного регионального окремнения и карбонизации как глинистых, так и песчано-алевритовых пород не происходит.

В алевро-песчаных породах сохраняются обломочные структуры, но наблюдается при этом перераспределение вещества в цементах. По мнению А. В. Копелиовича [1965], глубина, с которой проявляется интенсивное растворение обломочного материала песчаных пород, непостоянная и в зависимости от различных условий (в том числе и от возраста) может изменяться от 0,5 до 2,5 км.

Породы мезозоя находятся в зоне свободного водообмена, что характерно для верхней части осадочного чехла, находящегося на стадии начального катагенеза [Логвиненко, 1968; Карпова, 1967]. До глубины 300 м поровые воды и воды водоносных горизонтов характеризуются минерализацией, не превышающей 1 г/л, и гидрокарбонатно-кальциевым или гидрокарбонатно-сульфатно-кальциево-магниевым составом. Глубже 300 м мине-

рализация поровых вод возрастает до 16 г/л и появляются воды хлоридно-сульфатно-кальциево-натриевого состава. Наличие сообщающейся системы пор в породах мезозоя допускает миграцию поровых растворов сквозь породы, в связи с чем эти растворы участвуют во всех реакциях катагенеза. По мнению В. Энгельгардта [1971], наличие системы взаимосвязанных пор и подвижность пластовых флюидов, участвующих в катагенетических реакциях, являются отличительными признаками зоны катагенеза. Перенос минерального вещества в породах мезозоя осуществляется как посредством прямой фильтрации, так и диффузионным путем.

Глава 3

ПОЗДНЕКАТАГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПОРОД ТЕРРИГЕННОЙ ФЛИШЕВОЙ ФОРМАЦИИ И ИХ ИЗМЕНЕНИЯ В ФАЗУ РЕГРЕССИВНОГО ЛИТОГЕНЕЗА И В ПРОЦЕССАХ ОСАДОЧНОЙ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ СКЛОНОВОЙ АККУМУЛЯЦИИ

(на примере пород таврического флиша Южного берега Крыма)

Основные черты геологического строения и история развития района

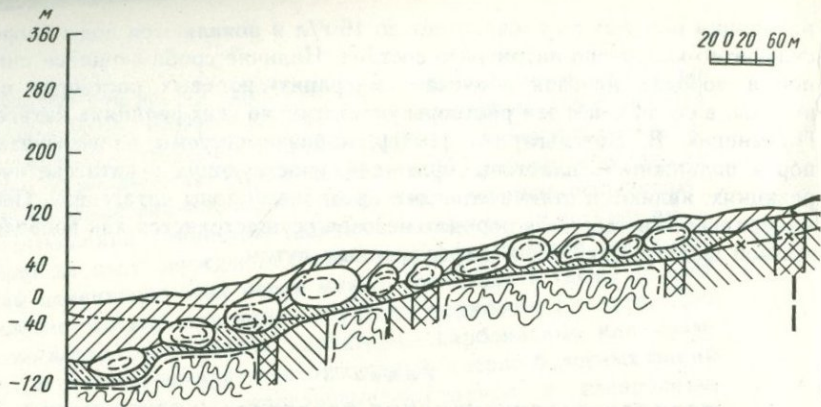
Современные представления о геологическом строении и развитии Южного берега Крыма основаны на работах В. Ф. Пчелинцева, М. В. Муратова, Г. С. Золотарева, Г. В. Карповой, Н. В. Логвиненко и др. В кратких чертах эти представления сводятся к следующему.

Важнейшим тектоническим элементом Крымского полуострова, по М. В. Муратову [1960], является складчатая область Крымских гор, относящаяся к альпийской тектонической зоне Юга СССР. Симеизский, Алупинский, Ливадийский и Гурзуфский оползневые районы, в пределах которых были сосредоточены наши исследования, расположены в области Ялтинского антиклинального поднятия, ядро которого сложено породами таврического флиша.

Формирование мощной толщи (свыше 2500 м) таврического терригенного флиша связывается с быстрым накоплением осадков в верхнетриасовом и нижнеюрском прогибе, который протягивался через весь Горный Крым, Кавказ и прилегающие части Черного моря — Крымско-Кавказскую геосинклиналь [Муратов, 1960].

На современном этапе развития района стадия нормального геосинклинального режима сменилась эпохой, в течение которой геосинклинальная зона превратилась в складчатую область. Общая тенденция к воздыманию главной гряды Крымских гор сопровождалась усилением денудационных процессов и эрозионной расчлененности рельефа.

Породы таврического флиша сильно дислоцированы, смяты в мелкие крутые складки, разбиты многочисленными тектоническими трещинами, сбросами и надвигами. Независимо от положения в разрезе глинистые породы таврического флиша по степени уплотнения и текстурным признакам являются, как правило, гидрослюдистыми аргиллитами, слоистыми или сланцеватыми; местами они несут в себе следы изменений, вызванных процессами контактного метаморфизма. На породы таврического флиша не-



Р и с. 14. Схематический инженерно-геологический разрез оползневого склона Южного берега Крыма (составила Р. И. Цибина, дополнение автора)

1, 2 — флишевые породы: 1 — таврической серии (T_3-J_2), 2 — средней юры (J_2); 3 — суглинки и глины с обломками аргиллитов, алевролитов, песчаников, известняков с плоскостями скольжения; 4 — глины темно-серые, аргиллиты мелкочешуйчатые — продукты разрушения флишевых пород в зонах оползневого дробления и перемещения в подошве смещен-

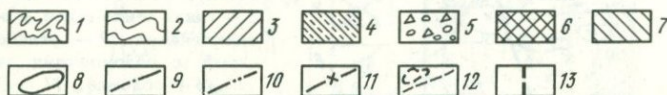
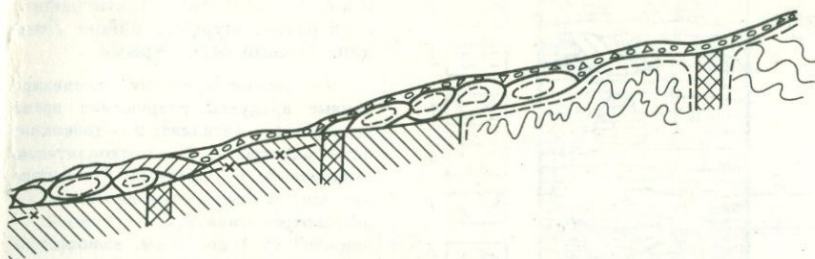
согласно налегают сероцветные сланцы, песчаники и аргиллиты среднеюрского возраста (J_2) мощностью до 700 м, которые перекрываются самыми молодыми коренными отложениями района, слагающими плато Яйлы и Яйлинский обрыв, — известняково-мергелистой толщей верхней юры (J_3). В породах аргиллито-сланцево-песчаниковой толщи формируется мощная зона элювия с сильно развитыми формами физического выветривания. Мощность зоны разрушения достигает нескольких десятков метров. Элювиообразование имеет общую тенденцию к увеличению площади интенсивной денудации на крутых склонах и к субаэральной аккумуляции на пологих.

Четвертичные накопления склонов ЮБК представлены глинисто-обломочными породами с различным соотношением крупнообломочного материала и дисперсной составляющей и характеризуются большой пестротой и частой сменой литологического состава как по вертикали, так и по простиранию. Содержание в них обломочного материала обычно сильно варьирует — от 10 до 50% и более.

На отдельных участках наблюдаются дресвяно-щебнистые линзы и прослои с песчано-глинистым заполнителем. Характерно наличие смещенных и перенесенных оползнем пачек сильно выветрелых, почти до состояния глины, сланцево-аргиллитовых пород таврического флиша с отчетливой чешуйчато-листовой текстурой и с включением более плотных и прочных пластинок аргиллитов, песчаников, алевролитов в виде гравия, щебня и дресвы.

Одни из основных причин активизации оползней — сейсмическая активность района и обводненность склонов, связанная с периодом интенсивного выпадения атмосферных осадков и с максимальным подъемом уровня подземных вод.

Трещиноватый и закарстованный массив известняков аккумулирует атмосферные и конденсационные воды, которые дренируются, образуя многочис-



ных блоков; 5 — дресва, щебень, глыбы известняков верхней юры или песчаников средней юры; 6, 7 — зоны дробления тектонических разрывов: 6 — продольных, 7 — поперечных; 8 — контуры смещенных блоков флишевых пород; 9—11 — линии поверхностей оползневых смещений: 9 — внутриоползневых, 10 — наиболее глубокого, 11 — прогнозируемого; 12 — границы зон выветривания в смещенных блоках и в коренных флишевых породах; 13 — предполагаемая граница раздела территорий с разным знаком вертикальных движений

ленные источники. Водоупором подземных вод склоновых отложений служат флишевые породы таврической серии и верхней юры.

Объектом нашего изучения послужили четвертичные делювиальные и оползневые накопления, породы таврического флиша и его элювия, залегающие в пределах средних и нижних частей южнобережного склона и в значительной степени определяющие развитие оползневых процессов (рис. 14, 15).

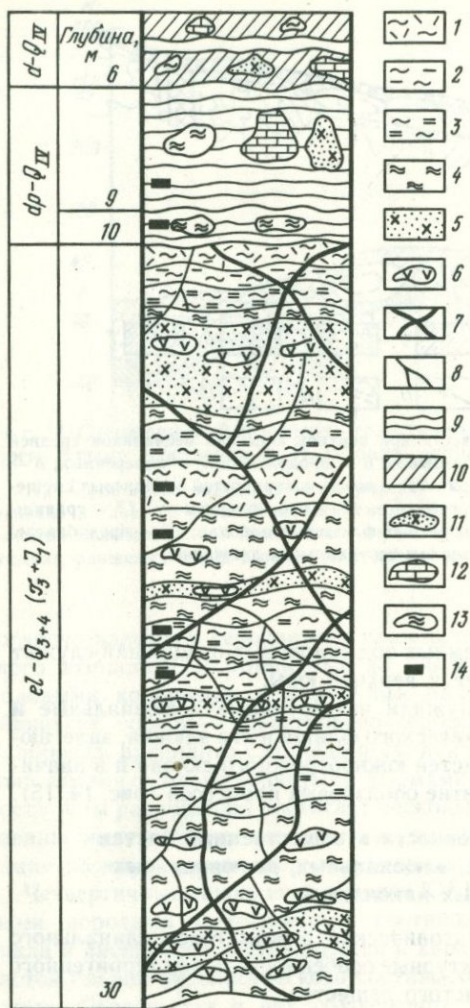
Тектурно-структурные особенности и вещественный состав пород таврического флиша, элювиальных, делювиальных и оползневых накоплений

Первичный состав осадков и тектонический режим геосинклинального бассейна определили текстурно-структурные особенности пород терригенного флиша и ход преобразования глинистого вещества.

Органическое вещество аргиллитов представлено главным образом углистыми соединениями и высокометаморфизованными битумами, о чем свидетельствуют результаты минералого-петрографического изучения шлифов и исследования Г. В. Карповой [1960]. Сохранившееся рассеянное органическое вещество в глинистых породах содержится в количестве 0,12—1,39%.

В стадию раннего диагенеза в присутствии больших количеств первичного органического вещества проходило образование тонкорассеянных выделений железисто-магнезиальных карбонатов и сульфидов, в основном пирита, которые затем, при перераспределении вещества, были стянуты в крупные конкреции и конкреционные прослои типа $(\text{Fe}, \text{Ca}, \text{Mg}, \text{Mn}) \text{CO}_2, \text{FeS}_2$ и т. д.

В зоне дезинтеграции первичный субстрат существенной переработке не подвергается, различаются первые стадии изменений нестойких составляющих и глинистых минералов, а в продуктах дезинтеграции все минералы исходных пород сохраняются почти без изменения. Намечается лишь тенден-



Р и с. 15. Литолого-стратиграфический разрез шурфа в районе Ливадии, Южный берег Крыма

1 — тонкочешуйчатые, глинизированные продукты разрушения аргиллита; 2—4 — аргиллит: 2 — тонкоплитчатый выветрелый, 3 — мелкоплитчатый выветрелый, 4 — прочный; 5 — алевролит или тонкозернистый песчаник; 6 — линзы окремнения; 7, 8 — трещины: 7 — шириной от 1 до 10 см, выполненные глинистым материалом, 8 — шириной менее 1 см с глинистыми примазками; 9 — глина темно-серая, с обломочными включениями; 10 — суглинок буровато-серый, с обломочными включениями; 11—13 — обломки: 11 — алевролита или тонкозернистого песчаника, 12 — известняка, 13 — аргиллита; 14 — мста отбора монолитов

ция к деградации гидрослюд что выражается в выносе некоторого количества щелочей и кремнезема, разрушении кристаллической решетки гидрослюд. За счет освободившихся окислов алюминия и кремния возникают единичные минералы групп каолинита. Происходит некоторое увеличение степени гидратации маловодных гидрослюд, появляются минералы смешанослойных образований типа гидрослюда—монтмориллонит.

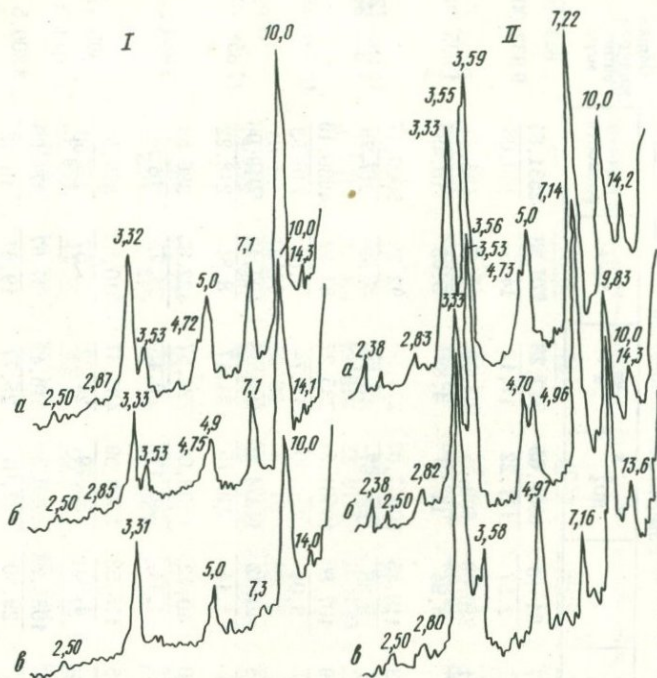
Результаты исследований минерального состава свидетельствуют о том, что преобладающим минералом глинистой фракции аргиллитов тавриче-

ского флиша является малогидратированная, хорошо окристаллизованная гидрослюда мусковитового типа.

Термограммы всех образцов имеют гидрослюдистый характер. Под электронным микроскопом хорошо видны полупрозрачные чешуйки и пластинки гидрослюд изометричной или удлинённой формы. Рентгеноструктурный анализ показал, что глинистая составляющая неветрелых аргиллитов представлена главным образом слабогидратированной, хорошо окристаллизованной диоктаэдрической гидрослюдой.

Глинистые минералы в рассматриваемых породах образуют две ассоциации: 1) хлорит-гидрослюдистую с содержанием хлорита от 10 до 36% и гидрослюды от 64 до 84%; 2) каолинит-хлорит-гидрослюдистую с суммарным содержанием каолинита и хлорита около 45%.

С увеличением степени выветрелости пород отмечается некоторое возрас-



Р и с. 16. Диффрактограммы глинистых фракций пород таврической свиты Южного берега Крыма

I — аргиллит в коренном залегании; II — выветрелый глинизированный аргиллит

Препараты: а — ориентированный, б — насыщенный глицерином, в — прокаленный при $t_0 = 500^\circ\text{C}$ в течение 1 ч (исследования выполнены Л. Г. Рекшинской)

тание содержания хлорита, появление каолинита и смешанослойных образований монтмориллонит-гидрослюдистого ряда (рис. 16).

Выветривание захватывает прежде всего неустойчивые компоненты. Сульфиды железа, сидерит и другие железистые и марганцевые карбонаты окисляются, кальцит и доломит растворяются. Сульфиды железа, железистые и марганцевые карбонаты преобразуются в окислы и гидроокислы с выделением тонкодисперсного кальцита, гипса, серной кислоты.

Свидетельством разложения неустойчивых компонентов в зоне выветривания служат гипергенные минералы, кислая реакция среды водных вытяжек ($\text{pH} = 4,9\text{--}5,8$), высокая минерализация (17—22 г/л) и сульфатно-кальциевый состав поровых растворов, отжатых из сильновыветрелых чешуйчатых глинизированных аргиллитов, что говорит об образовании серной кислоты и сульфатов за счет разложения пирита, столь характерного для пород таврического флиша.

В результате диффузионного выщелачивания величины минерализации поровых вод в оползневых породах, залегающих в приконтактных зонах с подземными водами, резко падают, снижаясь до 0,8 г/л (табл. 5).

В зоне дезинтеграции разрушаются прочные водостойкие первичные структурные связи, формируются дисперсные породы, а в делювиальных и оползневых накоплениях возникают вторичные, менее прочные, неводостой-

Таблица 5
 Результаты анализа поровых растворов пород оползневых склонов ЮБК

Литологическая характеристика пород	рН	Содержание компонентов						Общая минерализация, мг/л
		HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+ по разности	
Глины темно-серые, оползневые	6,8—7,0	486,17	91,13	6302,65	343,28	176,93	2531,84	9 932,00
		7,97	2,57	131,22	17,13	14,55	110,08	
Глины темно-серые, оползневые, на контакте с аргиллитом зоны элювия	6,8—7,0	458,11	246,09	699,38	97,99	68,46	425,27	1 995,30
		7,51	6,94	14,56	4,89	5,63	18,49	
Аргиллиты выветрелые, кора выветривания	6,8—7,0	855,83	119,85	10647,03	274,55	92,29	5009,17	16 998,72
		14,03	3,38	221,67	13,70	7,59	217,79	
Глины из трещины в аргиллите, кора выветривания	6,8—7,0	719,19	107,80	10581,21	235,27	83,42	4930,19	16 707,08
		11,79	3,04	220,30	11,74	6,86	216,53	
Аргиллиты выветрелые, кора выветривания	7,0	830,21	40,42	11371,10	490,38	107,13	5019,06	17 858,30
		13,61	1,14	236,75	24,47	8,81	218,22	
Глины темно-серые, оползневые, с поверхностями скольжения	6,8—7,0	207,40	40,42	4138,68	784,57	422,63	386,63	5 980,26
		3,40	1,14	86,17	39,15	34,75	16,81	
Глины темно-серые, оползневые, с поверхностями скольжения	6,8—7,0	460,55	175,53	2583,59	485,37	310,93	379,50	4 395,47
		7,55	4,95	53,79	24,22	25,57	16,50	
Глины буровато-серые, пластичные, на контакте с обводненным прослоем, оползневые	6,8—7,0	330,62	1038,98	1296,82	516,43	237,97	377,66	3 800,5
		5,42	29,30	27,04	25,77	19,67	16,42	
Суглинки зеленовато-бурые, оползневые	6,6—6,8	314,15	1418,40	7150,13	478,15	1421,99	1224,06	12 006,9
		5,15	4,40	148,87	23,96	116,94	53,22	

Глины темно-серые, оползневые, на контакте с обводненным прослоем	6,9—7,0	$\frac{347,70}{5,70}$	$\frac{266,30}{7,51}$	$\frac{735,38}{15,31}$	$\frac{245,09}{12,22}$	$\frac{59,58}{4,90}$	$\frac{261,79}{11,29}$	1 916,02
Глины темно-серые, оползневые	6,9—7,0	$\frac{840,58}{13,78}$	$\frac{762,29}{21,50}$	$\frac{6534,72}{136,05}$	$\frac{151,90}{7,58}$	$\frac{684,61}{5,63}$	$\frac{3636,76}{158,12}$	12 611,0
Аргиллиты выветрелые, кора выветривания	6,9—7,0	$\frac{328,79}{5,39}$	$\frac{9579,16}{270,14}$	$\frac{4299,13}{89,51}$	$\frac{343,28}{17,13}$	$\frac{517,77}{42,58}$	$\frac{7022,59}{305,33}$	22 090,72
Глины серые, известковистые, оползневые	6,8—7,0	$\frac{217,77}{3,57}$	$\frac{1200,67}{33,86}$	$\frac{2484,86}{51,78}$	$\frac{666,93}{33,28}$	$\frac{386,81}{31,81}$	$\frac{553,61}{24,07}$	5 510,65
Глины темно-серые, оползневые	6,8—7,0	$\frac{400,77}{6,57}$	$\frac{1624,07}{45,80}$	$\frac{2414,92}{50,28}$	$\frac{519,84}{25,94}$	$\frac{324,31}{26,67}$	$\frac{1150,92}{50,04}$	6 334,88
Глины темно-серые, с поверхностями скольжения, оползневые	6,8—7,0	$\frac{481,90}{7,90}$	$\frac{63,83}{1,80}$	$\frac{1270,20}{26,44}$	$\frac{97,99}{4,89}$	$\frac{178,63}{14,69}$	$\frac{380,88}{16,56}$	2 473,43
Глины бурые, на контакте с обводненным прослоем, оползневые	6,8—7,0	$\frac{192,15}{3,15}$	$\frac{212,40}{5,99}$	$\frac{195,41}{4,07}$	$\frac{176,55}{8,81}$	$\frac{101,05}{8,31}$	—	877,56

Примечание. Содержание анионов и катионов дано в виде дроби: в числителе — мг/л, в знаменателе — мг-экв. В таблице приводятся результаты анализов для некоторых характерных образцов.

кие связи молекулярного и частично цементационного характера за счет вторичной гипергенной цементации.

Результаты гранулометрических анализов показали, что все исследованные образцы оползневых накоплений относятся к смешанным породам, где присутствуют фракции щебня, дресвы, песка, пыли и глины. Содержание крупнообломочных фракций (>2 мм) колеблется от 8 до 52%, но иногда уменьшается до 3% или возрастает до 78%; фракции песка (от 2 до 0,05 мм) содержатся в количестве 14—47%, в отдельных образцах снижаясь до 10%; фракции пыли (от 0,05 до 0,005 мм) — 23—31%, в отдельных случаях увеличиваясь до 42% или снижаясь до 4—6%; на долю наиболее активной глинистой фракции ($<0,005$ мм) приходится около 14—37%. В отдельных образцах содержание глинистой фракции снижается до 5—7% или возрастает до 42—46%. Так, например, в образцах, отобранных на выположенных участках склонов, из оползней потоков, количество обломочных включений составило всего 2—15%. Эти же образцы содержат 25—40% фракций пыли. Для них характерна наиболее высокая дисперсность (содержание глинистых частиц 33—46%).

Высокодисперсными породами (глинистая фракция составила 31—32%) оказались также пластичные оползневые глины, залегающие на контакте с аргиллитами. А глинистая фракция в образцах, отобранных из оползневых накоплений с поверхностями скольжения, составляет 30%.

Гранулометрический анализ сильновыветрелых тонкощуччатых глинизированных аргиллитов, выполненный без предварительной обработки, т. е. при минимальном изменении природной дисперсности пород, показал, что глинизированные продукты выветривания аргиллитов как в коренном залегании, так и в смещенных пачках содержат в своем составе главным образом песчаные, пылеватые и обломочные фракции мелкой дресвы. Крупнообломочные фракции (>2 мм), состоящие из наиболее устойчивых к выветриванию пластинок аргиллита, содержатся в количестве 39—62%. Обломки аргиллитовых пород, разложившихся до размеров песчаных зерен, составили 23—41%, глинистая фракция обычно присутствует в количестве 8—18%. Однако встречаются сильновыветрелые глинизированные породы, в которых содержание глинистого материала ($<0,005$ мм) достигает 20 или даже 40%.

Глинистый материал, заполняющий трещины в аргиллитах элювия таврического флиша, содержат глинистую фракцию в количестве 30—40%. Песчаные и пылеватые фракции соответственно составили около 30 и 20%, на долю крупнообломочной составляющей приходится всего около 10%.

Физико-механические свойства пород таврического флиша, элювиальных, делювиальных и оползневых накоплений

Условия глубинного катагенеза и высокая тектоническая активность района (высокое гравитационное и тектоническое давление) способствовали формированию сильноуплотненных, высокопрочных, водостойких пород терригенного флиша полускального типа.

Аргиллиты таврического флиша содержат только прочносвязанные виды воды и характеризуются естественной влажностью (1—3%), соответствующей величине гигроскопической влажности. Они обладают высокой уплотненностью ($\gamma = 2,75—3,12$ г/см³, $n = 0,7—3,2\%$) и прочностью. Предел проч-

ности при одноосном сжатии аргиллитов равняется 19—22 МПа, иногда достигает 30—50 МПа. Песчаники и алевролиты характеризуются еще большей прочностью, составляющей 140—170 МПа.

В трещиноватых аргиллитах таврического флиша величины сцепления по ослабленным зонам и контактам пород, рассчитанные по формуле, предложенной С. В. Николаевым и А. В. Марковым [Николаев, 1970], составили всего 0,01—0,079 МПа. Влажность глинистого материала, выполняющего трещины и покрывающего тектонические плоскости скольжения, достигает 6—10%, плотность снижается до 2,30—2,33 г/см³.

Увлажненные глинизированные тонкочешуйчатые продукты выветривания аргиллитов характеризуются величинами естественной влажности, составляющими 10—18%, низкой гидрофильностью, физико-химической и коллоидальной активностью и малой водоудерживающей способностью (6—10%).

Такие особенности пород определяются специфическим составом слагающих их глинистых минералов и выражаются в низких величинах емкости поглощения (10—13 мг-экв/100 г породы) и пластичности ($M_p = 4—8$). Это, в свою очередь, сообщает им склонность при незначительном увлажнении переходить из устойчивого полутвердого состояния в разжиженное — текучее.

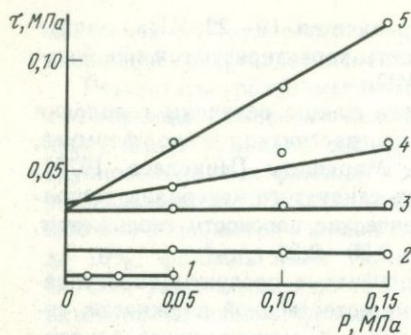
В результате разгрузки и выветривания глинизированные тонкочешуйчатые продукты разрушения аргиллитов сильно разуплотняются, плотности их составляют 2,14—2,46 г/см³, что значительно ниже плотности монолитных образцов (2,75—3,12 г/см³).

Вода в породах находится главным образом в виде свободной, иммобилизованной в порах структуры. Невысокие величины естественной влажности, не превышающие 13—15%, соответствуют почти полному водонасыщению пород (величина полной влагоемкости составила 15—16%) и состоянию, близкому к текучему. Породы обладают малым межчастичным сцеплением, что выражается в низких величинах пределов прочности, полученных по результатам одноосного сжатия ($P_m = 0,18—0,25$ МПа) и сдвига.

Стеновые сдвиговые испытания глинизированных продуктов выветривания аргиллитов, выполненные по маятниковой схеме [Тулинов, 1971], при влажности—плотности образцов, соответствующих их естественному состоянию ($W = 13—15\%$, $\gamma = 2,26$ г/см³), характеризуют эти породы как обладающие величинами сцепления, равными сотым или тысячным долям мегапаскаля при углах внутреннего трения, близких к нулевой величине. Соппротивление сдвигу определяется влажностью и состоянием дисперсного заполнителя (рис. 17).

Величины сцепления в выветрелых глинизированных аргиллитах, полученные в стандартных сдвиговых приборах при влажности—плотности образцов, соответствующих естественному состоянию пород, выражаются сотыми или тысячными долями мегапаскаля при высоких углах внутреннего трения (23—29°).

Исследования, выполненные по методу «семейства кривых» кинетики развития деформаций при постоянных, возрастающих от опыта к опыту напряжениях сдвига, свидетельствуют о том, что эти породы разрушаются при очень малых тангенциальных напряжениях. Предельные напряжения сдвига пород с естественной влажностью и плотностью ($W = 10—15\%$, $\gamma = 2,27—2,46$ г/см³), полученные в опытах чистого сдвига, без вертикальных нагрузок, составили всего 0,0012—0,0018 МПа. В области напряжений,



Р и с. 17. Сопротивление сдвигу глинисто-крупнообломочных пород в крупногабаритной стендовой установке

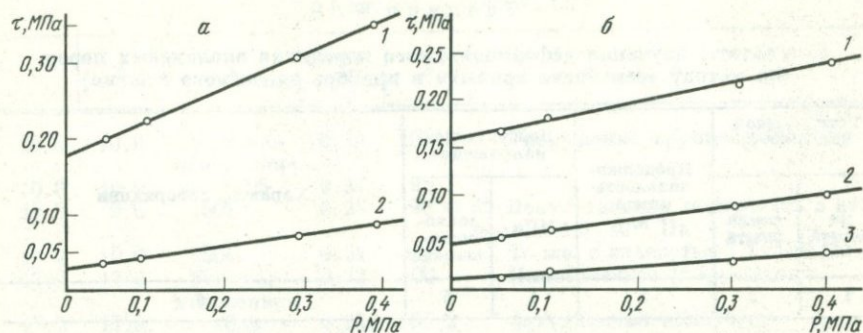
Глинизированный продукт выветривания аргиллита при влажности (в %): 1 — на границе текучести — 15,0—18,2, 2 — при естественной влажности — 13,2—15,9, 3 — на границе раскатывания — 10,8—12,8, 4 — при влажности меньше границы раскатывания — 9,8—11,7, 5 — при влажности значительно меньше границы раскатывания — 8,3—9,3

не превышающих предел прочности, наблюдается затухание деформации в результате дилатантного упрочнения. При напряжениях, превышающих предел прочности, происходит хрупкое разрушение.

Результаты реологических исследований, выполненных с помощью вискозиметра Воларовича, показали, что дисперсные фракции выветрелых глинизированных аргиллитов при влажности, соответствующей текучему состоянию пород ($W = 22—26\%$), ведут себя как дилатантные образования, склонные к внезапному разжижению. Породы сильно дилатантно упрочняются в процессе деформации. После достижения предельной деформации наступает хрупкий срыв контактов между частицами и порода разжижается. Эти исследования показали также, что дисперсная составляющая выветрелых глинизированных аргиллитов характеризуется низкими пределами прочности: разрушение структуры происходит при напряжениях 0,0049—0,0091 МПа. Предельно нарушенные структуры обладают сравнительно высокими величинами вязкости, составляющими 9,04—17,0 Па · с.

При вибрации в результате нарушения жестких межчастичных связей и при высвобождении иммобилизованной в порах структуры воды происходило снижение прочности пород примерно в 2—2,5 раза, и они переходили в неустойчивое текучее состояние. Но глинизированные продукты выветривания аргиллитов способны восстанавливать утраченную при вибрации прочность за счет процессов самопроизвольного уплотнения и синерезиса. Так, например, прочность образцов при влажности 23—25% в результате вибрации снижалась с 0,0046—0,0052 до 0,0020—0,0026 МПа. После выдерживания предварительно разжиженных при вибрации образцов в гидрататоре в течение пяти суток прочность пород возрастала до 0,0043—0,0052 МПа (при неизменной влажности), т. е. почти полностью восстанавливалась до исходной.

Такое деформационное поведение пород объясняется низкой гидрофильностью и физико-химической активностью их глинистой составляющей и свидетельствует о склонности подобных пород к текучести [Аккерман, 1958; Горькова, 1956б, 1965]. Высокой подвижности пород способствует присутствие в их составе органических и органоминеральных соединений. В делювиальных и оползневых накоплениях естественная влажность варьирует в широких пределах (от 6 до 30%). Наиболее высокие значения показателей естественной влажности песчано-глинистого заполнителя характерны для оползневых глинистых пород, залегающих на контакте с водоупорными аргиллитами (17,3—18,6%) и обводненными щебнистыми прослоями (22—



Р и с. 18. Сопротивление сдвигу оползневых отложений в одноплоскостном приборе

a — образцы с естественной влажностью и плотностью: 1 — порода в массиве, 2 — слабая зона с плоскостями скольжения; *b* — испытания по различным схемам: 1 — сдвиги образца: 1 — с естественной влажностью и плотностью, 2 — по схеме «плашка по плашке», 3 — после предварительного свободного набухания

31%), а также для образцов с поверхностями скольжения (19—24%), по которым происходит циркуляция подземных вод.

Оползневые породы характеризуются, как правило, невысокой пластичностью (7—14%). В отдельных, наиболее гидрофильных породах современных оползней потоков эти величины повышаются до 18—29%. Глинизированные продукты выветривания аргиллитов в смещенных пачках оползневых пород отличаются низкой гидрофильностью и очень небольшим диапазоном влажности пластичного состояния (около 5—7%).

Основная масса оползневых пород находится в устойчивом полутвердом состоянии. Породы, залегающие на контакте с водоупорными аргиллитами и обводненными щебнистыми прослоями, оползневые накопления с поверхностями скольжения, а также сильновыветрелые глинизированные продукты выветривания аргиллитов в смещенных пачках и обводненные породы современных оползней потоков имеют пластичную консистенцию.

Испытания пород в стабилometре показали, что сцепление в зонах ослабления в 5 или более раз ниже, чем в остальной толще, а угол внутреннего трения может быть высоким вследствие большого содержания обломочных включений. При содержании обломочного материала (>2 мм) в породе от 14 до 40% величина угла внутреннего трения колеблется от 4°30' до 31°.

Величины сцепления колеблются в среднем от 0,1—0,2 до 0,002 МПа. Наиболее высокие показатели сцепления и угла внутреннего трения были отмечены в образцах с содержанием обломочного материала, достигающим 35—40%. Образцы обводненных пластичных оползневых пород, залегающих в приконтактной зоне с аргиллитами или в зонах, где развиты поверхности скольжения, имеют значительно меньшие показатели прочности, чем образцы пород из оползневых глин полутвердой консистенции.

Результаты лабораторного изучения делювиальных и оползневых пород, содержащих небольшое количество (до 10%) мелких обломочных включений (до 10 мм), с помощью стандартных сдвиговых приборов показали, что почти все исследованные образцы с естественной влажностью песчано-глинистого заполнителя, отвечающей полутвердому состоянию пород, характеризуются высокими показателями сопротивления сдвигу. Величины сцепления таких пород составили 0,05—0,25 МПа, а углы внутреннего

Таблица 6

Результаты изучения деформационного поведения оползневых пород
(по методу «семейства кривых» в приборе одноосного сжатия)

Естественная влажность, %		Продолжительность опыта, ч	Действующее напряжение		Характер деформации
до опыта	после опыта		МПа	% от условно-мгновенного	
1	2	3	4	5	6
14,5	14,2	0,13	0,3	100	Пластичное разрушение
14,3	14,2	700	0,26	86,6	Незатухающая ползучесть с вязкостью $1 \cdot 10^{10}$ Па · с
14,3	14,1	144	0,225	75,0	Затухающая ползучесть
14,0	14,0	120	0,195	65,0	То же
11,0	10,7	Условно-мгновенная	0,55	100	Хрупкопластичное разрушение
11,0	10,5	96	0,51	92	Затухающая ползучесть
11,2	10,8	120	0,385	70	То же
12,4	12,4	Условно-мгновенная	0,2	100	Хрупкопластичное разрушение
12,4	12,0	3	0,18	100	
12,7	11,9	200	0,15	75,0	Затухающая ползучесть
11,2	11,0	200	0,1	50,0	То же
10,0	10,0	Условно-мгновенная	0,32	100	Разрушение хрупкое
10,0	10,0	3	0,317	99	Прогрессирующая ползучесть, разрушение через 3 ч
11,0	10,5	48	0,28	87	То же, разрушение через 48 ч
10,0	9,0	456	0,26	81	Затухающая ползучесть
11,0	9,5	408	0,24	75	То же
15,3	15,3	Условно-мгновенная	0,32	100	Пластическое разрушение
15,0	15,0	0,5	0,3	93,7	
15,8	15,5	96	0,27	84,4	Прогрессирующая ползучесть, разрушение через 4 сут
16,0	15,0	408	0,224	70,0	Затухающая ползучесть
15,5	13,5	432	0,186	60,0	То же
17,6	17,5	Условно-мгновенная	0,265	100	Пластическое разрушение
16,7	16,7	1	0,24	91,3	
16,5	15,7	624	0,19	70	Незатухающая ползучесть с вязкостью $7,2 \cdot 10^{13}$ Па · с
17,0	16,8	312	0,15	60	Затухающая ползучесть
14,0	14,0	Условно-мгновенная	0,23	100	Разрушение хрупкопластичное
14,0	14,0	2	0,22	95,6	
14,1	13,5	312	0,2	87,0	Затухающая ползучесть
14,0	13,5	360	0,15	65,2	То же
14,6	14,6	Условно-мгновенная	0,31	100	Пластическое разрушение
14,2	14,2	1	0,3	97	
14,0	13,6	504	0,28	90	Незатухающая ползучесть с вязкостью $1 \cdot 10^{14}$ Па · с
14,5	14,1	744	0,18	70	То же, с вязкостью $4,3 \cdot 10^{14}$ Па · с
14,2	13,7	672	0,17	60	То же, с вязкостью $1,3 \cdot 10^{14}$ Па · с

Таблица 6 (окончание)

1	2	3	4	5	6
10,5	10,0	Условно- мгновенная	0,39	100	Разрушение хрупкопластичное
10,0	10,0	0,25	0,37	95	
10,0	9,0	504	0,28	70	Незатухающая ползучесть с вязкостью $1,3 \cdot 10^{14}$ Па·с
10,2	10,0	504	0,24	60	То же, с вязкостью $1,1 \cdot 10^{14}$ Па·с
17,0	17,0	Условно- мгновенная	0,32	100	Пластическое разрушение
17,0	17,0	0,3	0,295	92,2	Затухающая ползучесть
16,8	16,4	300	0,27	84,3	То же
16,5	16,0	432	0,25	76	» »
16,8	16,5	312	0,205	64	» »
18,8	18,8	Условно- мгновенная	0,24	100	Пластическое разрушение
18,8	18,8	10	0,23	95,3	
18,9	18,7	288	0,21	85,0	Незатухающая ползучесть с вязкостью $1,5 \cdot 10^{14}$ Па·с
18,4	18,3	408	0,196	77,0	То же, с вязкостью $1,2 \cdot 10^{14}$ Па·с
18,7	18,6	240	0,15	60,0	То же, с вязкостью $5,3 \cdot 10^{13}$ Па·с
12,8	12,8	Условно- мгновенная	0,25	100	Пластическое разрушение
12,8	12,7	0,1	0,21	91,0	
12,0	11,6	336	0,196	80,0	Незатухающая ползучесть с вязкостью $2 \cdot 10^{13}$ Па·с
13,5	13,0	312	0,15	65,0	То же, с вязкостью $7,7 \cdot 10^{13}$ Па·с

трения равны $12-35^\circ$. Однако образцы, отобранные из ослабленных увлажненных зон, имели значительно более низкие показатели сопротивления сдвигу как за счет сцепления, так и за счет угла внутреннего трения. Величины сцепления пород пластичной консистенции падали до значений $0,01-0,04$ МПа, а углы внутреннего трения — до $4-12^\circ$. В отдельных образцах из увлажненных ослабленных зон углы внутреннего трения оставались высокими — $22-27^\circ$ (рис. 18, а).

Исследования сопротивления пород сдвигу после предварительного свободного набухания образцов свидетельствуют о резком падении их прочности при увлажнении (см. рис. 18, б).

Результаты исследований, полученные с помощью стендовой крупногабаритной установки по маятниковой схеме, показали, что сопротивление сдвигу оползневых глинисто-обломочных грунтов с одинаковым содержанием обломочных включений (30—40%) определяется влажностью и состоянием дисперсного заполнителя. Резкое снижение сопротивления сдвигу наблюдается вследствие увеличения влажности от 11—16 до 20—22% и перехода грунта из полутвердого состояния в пластичное, при этом величина сцепления снижается от $0,013-0,054$ до $0,008-0,02$ МПа, а угла внутреннего трения — от $10-30$ до $1-2^\circ$. При переходе пород в текучее состояние при влажности 24—31%, соответствующей влажности свободного набухания и влажности на границе текучести, происходит падение величины сцепления до $0,002$ МПа и угла внутреннего трения до нуля.

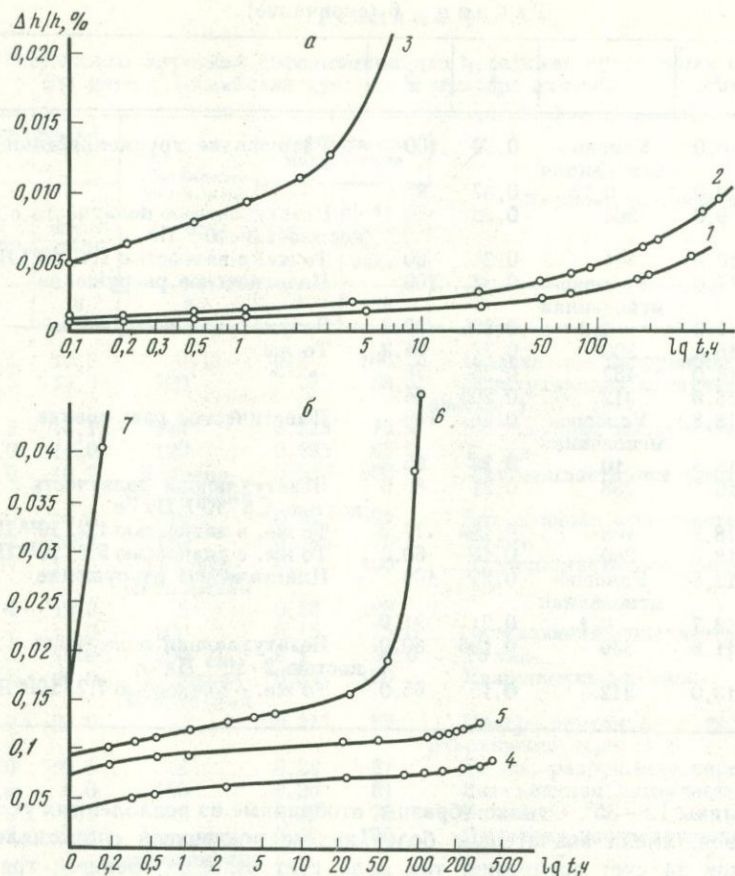


Рис. 19. Кинетика развития деформаций при постоянных напряжениях. Метод одноосного сжатия. Оползневые накопления пластичной консистенции

a — обр. 1; *b* — обр. 2

Постоянные напряжения (σ), МПа: 1 — 0,24; 2 — 0,26; 3 — 0,28; 4 — 0,18; 5 — 0,24; 6 — 0,27; 7 — 0,30

Результаты реологических исследований, выполненных с помощью одноосного сжатия по методу получения «семейства кривых», показали, что большинство образцов глинисто-крупнообломочных оползневых пород характеризуются затухающей ползучестью при нагрузках, составляющих 60—70% от условно-мгновенной прочности.

При нагрузках, составляющих 90—95% от условно-мгновенной прочности, оползневые накопления деформируются по-разному в зависимости от количества в них обломочных включений и от консистенции песчано-глинистого заполнителя (табл. 6).

Отдельные увлажненные, наиболее дисперсные и пластичные образцы пород с небольшим процентом мелких обломочных включений развивают деформации незатухающей ползучести с постоянной вязкостью $5,2 \cdot 10^{13}$ — $4,3 \cdot 10^{15}$ Па · с при нагрузках, составляющих 60—70% от условно-мгновенной прочности.

Породы пластичной консистенции обнаруживают большие величины относительных деформаций при всех постоянных нагрузках. Полутвердые породы с плоскостями скольжения при постоянных нагрузках, составляющих 87—99% от условно-мгновенной прочности, обнаруживают деформации ползучести, которые иногда приводят к разрушению по плоскостям скольжения (рис. 19).

Закономерности формирования инженерно-геологических свойств пород таврического флиша, элювиальных, делювиальных и оползневых накоплений

Инженерно-геологические особенности пород таврического терригенного флиша ЮБК формировались как под влиянием седиментационно-диагенетических условий верхнетриасового—нижнеюрского геосинклинального флишевого бассейна (Крымско-Кавказская геосинклиналь), так и в результате постдиагенетических преобразований.

Седиментационными признаками, определившими инженерно-геологические особенности пород, являются терригенный характер осадков, ритмическое их строение и наличие большого количества первичного органического вещества в осадках таврического бассейна. Глинистые породы таврического флиша сохранили диагенетические признаки за счет минеральных новообразований (конкреций). Основная масса конкреционных железисто-карбонатных и сульфидных минеральных образований приурочена к глинистым породам (аргиллитам, сланцам) или к контакту глинистых и песчано-алевритовых пород (алевролиты, песчаники).

На современном этапе развития терригенные породы таврического флиша по степени изменения осадочного вещества и текстурно-структурным признакам находятся на стадии глубинного (позднего) катагенеза, что проявляется прежде всего в гидрослюдизации глинистых минералов, метаморфизации органики и формировании цементационных и кристаллизационных структурных связей в породах.

В условиях высокой тектонической активности района в сильно-уплотненных дегидратированных и упроченных породах терригенного флиша формируются ослабленные зоны, приуроченные к тектонической и гипергенной трещиноватости, по которым величины сцепления могут снижаться до долей мегапаскала. При сильно расчлененном рельефе ЮБК и интенсивных процессах денудации гипергенез не выходит за рамки первого этапа, где преобладает механическое разрушение пород с образованием щебнисто-дресвяных продуктов. Степень выраженности вторичных гипергенных преобразований глинистых минералов незначительная. Намечается лишь некоторая тенденция к изменению пород.

На современном этапе развития породы терригенного флиша, преобразованные процессами глубинного катагенеза и последующими процессами, связанными со складкообразованием, испытали высокое гравитационное тектоническое давление. Они сформировались в породы высокой степени уплотнения и литификации с жесткими водостойкими цементационными и кристаллизационными структурными связями и обладают соответствующим комплексом показателей физико-механических свойств: высокой прочностью, упругостью, водостойкостью. Местами они несут в себе признаки влияния процессов дислокационного или контактного метаморфизма. Жесткие водо-

стойкие цементационные и кристаллизационные связи в породах таврического флиша препятствуют проявлению характерных свойств глинистых минералов. Независимо от положения в разрезе по степени уплотнения и текстурным признакам глинистые разности пород терригенного флиша представлены, как правило, прочными (предел прочности при одноосном сжатии достигает 20—50 МПа), плотными ($\gamma \approx 2,6$ г/см³), водостойкими слоистыми или сланцеватыми аргиллитами. Глинизированные продукты дезинтеграции аргиллитов в коре выветривания и в смещенных пачках характеризуются низкими гидрофильностью и физико-химической активностью, малой вододерживающей способностью и склонностью к разжижению и текучести при водонасыщении. Они склонны к оплыванию в откосах и могут переходить в неустойчивое текучее состояние в результате увлажнения, под влиянием вибрации и других механических воздействий.

Инженерно-геологические особенности глинизированных продуктов выветривания аргиллитов терригенного флиша вполне коррелируются с составом высокодисперсной части пород, представленной хорошо окристаллизованными, малогидратированными гидрослюдами, близкими по структуре к слюдам мусковитового типа и имеющими пластинчатый облик и достаточно крупные размеры. Невысокая физико-химическая активность таких глинистых минералов определяет очень низкую гидрофильность пород и малую их вододерживающую способность даже в том случае, когда наблюдается достаточно сильное физическое разрушение аргиллитов и содержание глинистых фракций достигает 20 или даже 40%. В таких малогидрофильных породах даже невысокие абсолютные величины естественной влажности, не превышающие 15—16%, соответствуют почти полному водонасыщению пород и состоянию, близкому к текучему. Породы обладают очень малым межчастичным сцеплением, что выражается в низких величинах пределов прочности, полученных по результатам одноосного сжатия и сдвига. Величины сцепления выражаются сотыми или даже тысячными долями мегапаскаля. Предельное напряжение сдвига водонасыщенных пород, полученное в опытах чистого сдвига, для продуктов выветривания таврического флиша составило всего 0,0012—0,00018 МПа. В области напряжений, не превышающих предел прочности, наблюдается затухание деформаций в результате дилатантного упрочнения. Дисперсные фракции этих пород при влажности, соответствующей текучему состоянию, ведут себя как дилатантные, склонные к внезапному разжижению образования. Породы склонны переходить в неустойчивое текучее состояние под влиянием вибрации, но они способны восстанавливать утраченную при вибрации прочность за счет процессов самопроизвольного уплотнения и синерезиса.

Такие особенности глинизированных продуктов выветривания аргиллитов способствуют тому, что на ЮБК большое место в деформации склонов принадлежит текучести пород. Трещины и ослабленные зоны в коре выветривания служат потенциальными поверхностями блоковых смещений пород. Щебнисто-глинистый элювий является средней зарождения делювия и оползней—потоков. Степень раздробленности материала и мощность оползневых отложений ЮБК в значительной степени определяются орогенным фактором территории, обуславливающим интенсивность и соотношение скоростей процессов денудации и аккумуляции.

В делювиальных и оползневых накоплениях под влиянием продолжающихся процессов механической дезинтеграции и усиливающихся тенденций

к гипергенным преобразованиям химико-минерального состава несколько повышается гидрофильность и физико-химическая активность, возрастает пластичность, межчастичное сцепление и степень выраженности характерных глинистых свойств пород. Прочность и деформируемость делювиальных и оползневых накоплений определяются содержанием обломочных включений и влажностью дисперсной составляющей. Ослабленные зоны приурочены к участкам пород с небольшим содержанием обломочных включений (<25—30%) и высокой влажностью дисперсной составляющей, отвечающих пластичному или текучему состоянию пород. Они тяготеют к старым поверхностям смещения, к участкам локального увлажнения, к приконтактной зоне с элювием таврической свиты и с обводненными щебнистыми прослоями, а также к современным оползням—потокам.

Величины сцепления по ослабленным зонам в породах могут снижаться до долей паскаль-секунды. Деформации глинистых оползневых накоплений осуществляются не столько за счет склонности их к текучести, как в глинизированных продуктах выветривания аргиллитов, сколько вследствие незатухающей, а в наиболее ослабленных зонах и прогрессирующей ползучести.

Среди литогенетических процессов, участвующих в формировании физико-механических свойств ослабленных зон в оползневых породах ЮБК, особое место принадлежит гидратации и диффузионному выщелачиванию, которые протекают под влиянием атмосферных осадков и слабоминерализованных подземных вод, фильтрующихся сквозь толщу склоновых отложений.

Изменения физико-химических условий на склоне приводят к повышению гидрофильности и деформируемости пород, к снижению их прочности и могут служить одной из причин активизации оползней. О резком падении прочности оползневых пород при их гидратации и выщелачивании свидетельствуют данные, характеризующие зависимость величин сцепления и угла внутреннего трения от влажности и минерализации порового раствора.

Выявленные закономерности, по-видимому, можно распространить на все породы оползневых склонов. Для них характерна общая тенденция к разуплотнению, снижению прочности и повышению деформируемости в процессах элювиообразования и формирования оползневых накоплений.

Как показали исследования Л. А. Аносовой [Аносова и др., 1976], аналогичная направленность процессов формирования свойств была установлена для пород оползневых склонов Черноморского побережья Кавказа в зоне развития терригенного флиша палеоцен-эоценового возраста. Однако анализ результатов этих исследований показал, что делювиальные и оползневые накопления склонов, а также элювиальные образования, формируясь в различных геоструктурных, геоморфологических и климатических зонах и являясь продуктом разрушения пород, образовавшихся в условиях различного тектонического режима, характеризуются рядом индивидуальных черт и имеют свою специфику формирования физико-механических свойств, что позволяет относить их к различным типам пород [Аносова и др., 1976].

Так, например, на Кавказском побережье оползневые отложения, сформировавшиеся из пород терригенно-карбонатного флиша, имеют меньшие мощности и содержат в своем составе больше крупнообломочных включений, нежели оползневые породы, сформировавшиеся в районе распространения терригенного флиша и аргиллитов субплатформенной зоны, где процессы выветривания и континентальной аккумуляции протекают более интенсивно в тех же ландшафтно-климатических условиях. Последние характеризуются

несколько более интенсивным изменением химико-минерального состава пород.

Весьма специфические по составу и свойствам оползневые отложения формируются в области распространения майкопских глин олигоцена — нижнего миоцена в Абхазо-Рачинской тектонической зоне Кавказа. По сравнению с полускальными флишевыми породами степень литификации майкопских глин в коренном залегании невелика. Прочность на раздавливание этих пород не превышает 1,8—2,0 МПа. В условиях сглаженного низкогорного рельефа прибрежной полосы майкопские глины при выветривании образуют мощные (до 20 м) толщи элювия, из которого формируются оползневые накопления исключительно глинистого состава (80—90% глинистых частиц). В таких условиях гидрослюды значительно гидратируются, появляются смешанослойные образования типа гидрослюда-монтмориллонит. Формируются высокогидрофильные оползневые отложения, склонные к набуханию (до 30%) и способные к пластическим деформациям типа ползучести с постоянной вязкостью порядка 10^{14} — 10^{15} Па · с.

Ульяновское Поволжье является типичным примером платформенных условий формирования элювиальных и оползневых отложений. Формированию достаточно мощной (до 20 м) современной коры выветривания способствовали равнинный рельеф, небольшая крутизна (не более 10—12°) волжского склона, умеренно континентальный гумидный климат и неустойчивость коренных пород против выветривания. В коре выветривания этих пород прослеживается четкая зональность. Щебнистый и глыбовый элювий, увлажняясь, превращается в достаточно однородную глинистую массу. Диапазон изменений физико-механических свойств от коренных пород к оползневому отложению в платформенных условиях сравнительно невелик [Аносова и др., 1976].

ЧАСТЬ III

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕРРИГЕННЫХ ОСАДОЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Глава I

КРИТЕРИЙ ВЫДЕЛЕНИЯ СТАДИЙ И ЭТАПОВ ЛИТОГЕНЕЗА, ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ПОРОД

Анализ результатов выполненных исследований позволил установить, что стадийные изменения физико-механических свойств пород опережают изменения их химико-минерального состава. Поэтому показатели физико-механических свойств, являясь количественным выражением степени литификации пород, могут служить наиболее надежными, обоснованными и простыми критериями для выделения стадий и этапов литогенеза и зональных инженерно-геологических изменений пород.

Для характеристики стадийных изменений терригенного комплекса мы предлагаем использовать глинистые породы, как наиболее чутко реагирую-

Таблица 7

Инженерно-геологическая характеристика стадий и этапов литогенеза субаквальных глинистых образований

Стадия литогенеза	Этап литогенеза	Зона литификации	Инженерно-геологическая характеристика типов пород
Седиментогенез Диагенез	1	1	<p>Суспензии</p> <p>Предельно слабая степень уплотнения и литификации, весьма высокая гидратированность, рыхлость структуры, весьма слабое межчастичное сцепление коагуляционного характера, повышенная сжимаемость, высокая деформируемость, склонность к разжижению и текучести при нарушении структурных связей. $W_e > W_f$, $K_d \leq 0$, $\beta \leq 1$, $P_m < 0,1$ МПа</p>
	2	2	<p>Слабая степень уплотнения и литификации, мягкопластичное малоуплотненное состояние, слабые коагуляционные структурные связи, низкая прочность, сильная сжимаемость, высокая деформируемость. В пределах нагрузок, не превышающих предела прочности, проявляют большие пластические деформации, $W_e > W_p$ и $W_{мв}$, $K_d = 0-1$, $P_m = 0,1-0,5$ МПа</p>
Ранний катагенез	1	3	<p>Средняя степень уплотнения и литификации, тугопластичное среднеуплотненное состояние, значительное упрочнение коагуляционных структурных связей, возникновение смешанных коагуляционно-конденсационных межчастичных контактов, средняя степень сжимаемости, выраженная упругость, нарастание прочности, в большом интервале напряжений породы проявляют склонность к деформациям ползучести, склонны к гидратации и набуханию. $W_e \approx W_p \approx W_{мв}$, $K_d \approx 1$, $\beta = 0$, P_m до 1,5 МПа</p>
	2	4	<p>Высокая степень уплотнения и литификации, полутвердое сильноуплотненное состояние, значительное упрочнение структурных связей конденсационного характера, слабая сжимаемость, высокая прочность, выраженная упругость, малая деформируемость. $W_e \leq W_p \approx W_{мв}$, $K_d \geq 1$, $\beta \leq 0$</p> <p>Предел прочности при одноосном сжатии (P_m) возрастает до 3 МПа. Очень активно гидратируются, набухают (до 35%), развивая высокие величины давления набухания (до 0,8 МПа), и размягчаются, часто с полной потерей прочности (неводостойкие). В некотором интервале напряжений, близких к разрушающим, проявляют склонность к деформациям ползучести</p>
	3	5	<p>Весьма высокая степень уплотнения и литификации. Твердое сильноуплотненное состояние. $W_e < W_p \approx W_{мв}$, $K_d > 1$, $\beta < 0$.</p> <p>Цементационный характер структурных связей, весьма высокая прочность (до 6 МПа), практически несжимаемые, весьма слабая деформируемость упругого характера, водостойкость (в воде не гидратируются, не набухают, сохраняют прочность). Глинистые фракции обладают гидрофильностью и физико-химической активностью. При нарушении цементационных структурных связей резко снижают показатели прочности (на сдвиг, одноосное и трехосное сжатие).</p>

Таблица 7 (окончание)

Стадия литогенеза	Этап литогенеза	Зона литификации	Инженерно-геологическая характеристика типов пород
Поздний (глубинный) катагенез	1	6	<p>повышают сжимаемость и проявляют высокую гидратированность — сильно набухают, утрачивают водостойкость (потенциально набухающие)</p> <p>Предельно высокая степень уплотнения и литификации, цементационный характер структурных связей, весьма высокие (свыше 10 МПа) прочность, упругость, водостойкость, низкая гидрофильность и физико-химическая активность глинистых фракций.</p> <p>В зонах тектонических нарушений прочность может падать до долей мегапаскаля. При нарушении цементационных структурных связей не проявляют гидрофильности, практически не набухают, но мгновенно размокают и проявляют склонность к текучести — в водонасыщенном состоянии характеризуются высокой деформируемостью и текучестью при весьма малых (доли мегапаскаля) напряжениях сдвига.</p>

Таблица 8

Инженерно-геологическая характеристика стадий и этапов литогенеза субаквальных песчано-алевритовых образований

Стадия литогенеза	Этап литогенеза	Зона литификации	Инженерно-геологическая характеристика типов пород
Седиментогенез			Взвеси и суспензии
Диагенез	1	1	Водонасыщенные, естественная влажность близка к полной влагоемкости, $W_e \approx W_{вв}$. Ничтожно малые (близкие к 0) межчастичное сцепление и вязкость, высокая деформируемость и текучесть при очень малых (близких к 0) напряжениях
Ранний катагенез	1	2	<p>Естественная влажность изменяется в интервале между влажностью полной и максимальной молекулярной влагоемкостью, $W_{вв} > W_e \geq W_{ммк}$</p> <p>Предел прочности (P_e) не превышает 1 МПа, в зависимости от влажности и содержания глинистых фракций. Малая структурная прочность (доли мегапаскаля), склонность к дилатансии, разжижению и пльвности под действием весьма малых напряжений. При напряжениях выше предела структурной прочности, величина которой мала (доли мегапаскаля), водонасыщенные породы приобретают способность к течению с постоянной весьма малой вязкостью (10—70 Па·с), проявляют склонность к тиксотропным превращениям и механической суффозии</p>
	2	3	Цементационный характер структурных связей, высокие прочность (5 МПа), упругость, водостойкость. Естественная влажность близка к гигроскопической

Таблица 8 (окончание)

Стадия литогенеза	Этап литогенеза	Зона литификации	Инженерно-геологическая характеристика типов пород
Поздний (глубинный) катагенез	1	4	<p>влажности, $W_e \approx W_{\text{гигр}}$. Кремнистые, известковистые, гипсовые, железистые, битуминозные песчаники и алевролиты, зоны локальной цементации</p> <p>Цементационный характер структурных связей, весьма высокие прочность (может превышать 100 МПа), упругость, водостойкость, $W_e \approx W_{\text{гигр}}$, сплошная региональная цементация. В зонах интенсивных тектонических нарушений (ослабленных зон) величины сцепления пород могут снижаться до сотых долей мегапаскаля</p>

шие на факторы литогенеза. При этом наиболее надежными, простыми и обоснованными критериями могут служить показатели уплотненности и консистенции, так как они имеют определенный физический смысл, отражая физическое состояние пород и содержание в них различных категорий воды, и определяются несложными, хорошо разработанными методами.

Следует подчеркнуть объективность предлагаемых критериев, отражающих физическую сущность качественных изменений плотности, дегидратированности и упрочненности пород. Качественные изменения наступают в форме скачков, перерывов постепенности и в смене одних инженерно-геологических качеств другими. Именно эти качественные изменения и определяют границы зон литификации пород, соответствующие содержанию в них определенных категорий воды и переходу от одного физического состояния в другое.

Завершением стадии диагенеза мы предлагаем считать такую степень дегидратированности и уплотненности глинистых пород, когда они теряют свободную и осмотическую воду, что соответствует переходу к стадии замедленного уплотнения и к новому качественному состоянию пород — изменению характера структурных связей, резкому нарастанию твердообразных свойств (прочности, упругости).

Завершением стадии раннего катагенеза мы предлагаем считать такую степень дегидратированности пород, когда в них остаются только прочносвязанные виды воды и отмечается резкое снижение гидрофильности и физико-химической активности пород, что соответствует сплошной региональной литификации, гидрослюдизации глинистых минералов, метаморфизации органического вещества.

Более мелкие качественные скачки в изменении свойств пород, соответствующие переходу их из одного физического состояния в другое (скрыто-текучее, пластичное, полутвердое, твердое), могут служить критериями для выделения этапов литогенеза и зональных изменений инженерно-геологических свойств пород.

Инженерно-геологический анализ стадий и этапов литогенеза позволил охарактеризовать зональные особенности пород и разработать их инженерно-геологическую типизацию.

Таблица 9

Инженерно-геологическая характеристика основных типов элювиальных, делювиальных и оползневых пород

Структурно-тектонические, ландшафтно-климатические и литологические условия	Инженерно-геологическая характеристика типов пород
<p>Горно-складчатые области с сильно расчлененным рельефом, крутые склоны, все климатические зоны, материнские породы предельно высокой степени литификации, сформировавшиеся в условиях геосинклинального тектонического режима</p>	<p>Продукты механической дезинтеграции высоколитифицированных коренных пород — крупнообломочные образования с дисперсной песчано-глинистой составляющей. Вторичные неводостойкие межчастичные связи коагуляционного или смешанного (коагуляционно-конденсационного, коагуляционно-цементационного) характера. Низкие гидрофильность и физико-химическая активность дисперсной составляющей. Консистенция, прочность и деформируемость определяются степенью дезинтеграции (гранулометрическим составом), гидрогеологическими условиями и сезонными колебаниями влажности. Породы изменяются от относительно прочных, полутвердых, малодеформируемых (P_m — десятки мегапаскаля) до малопрочных (P_m снижается до сотых и тысячных долей мегапаскаля), текучепластичных (слабые зоны). «Слабые зоны» в коре выветривания приурочены к зонам избирательного выветривания аргиллитов, тектоническим и гипергенным трещинам; в делювиальных и оползневых накоплениях — к зонам повышенного увлажнения и выщелачивания, старым поверхностям скольжения, оползневым и гипергенным трещинам. Породы «слабых зон» — дилатантные, склонные к текучести, в водонасыщенном состоянии склонны к разжижению при динамических нагрузках и к последующему полному или частичному синергетическому упрочнению во времени</p>
<p>Ландшафтно-тектонические и литологические условия, аналогичные вышеописанным, умеренный или теплый гумидный климат, выположенные участки склонов</p>	<p>Инженерно-геологические особенности пород, аналогичные вышеописанным. Отличительная особенность выражается в более высокой дисперсности, пластичности, гидрофильности и физико-химической активности, склонности «ослабленных зон» к пластическим деформациям типа незатухающей или прогрессирующей ползучести с постоянной вязкостью 10^{10}—10^{14} Па·с</p>
<p>Горно-складчатые области, где коренные породы сформировались в период существования в геосинклинальной зоне платформенного тектонического режима, районы с платформенным режимом, условия пологих склонов, сглаженного или равнинного рельефа, теплого или умеренного гумидного климата, ма-</p>	<p>Продукты механической дезинтеграции и химического выветривания дисперсных пород средней или высокой степени уплотнения и литификации. Породы гидрофильные, склонные к набуханию, с вторичными молекулярными связями коагуляционного или смешанного характера, в зависимости от гидрогеологических условий и сезонных колебаний влажности изменяются от средне- или сильноуплотненных, полутвердых или</p>

Таблица 9 (окончание)

Структурно-тектонические, ландшафтно-климатические и литологические условия	Инженерно-геологическая характеристика типов пород
теринские породы средней или высокой степени литификации	тугопластичных до весьма слабых, разуплотненных, мягкопластичной или текучепластичной консистенции (слабые зоны). Породы «слабых зон» склонны к деформациям незаходящей или прогрессирующей ползучести с постоянной вязкостью 10^{14} — 10^{16} Па·с, предел прочности пород этих зон снижается до сотых и тысячных долей мегапаскаля
Структурно-тектонические и ландшафтные условия, аналогичные вышеописанным, южные аридные климатические районы	Средняя или высокая степень уплотнения и литификации, полутвердая или твердая консистенция, вторичные цементационные или смешанные структурные связи. Прочность и водостойкость пород определяются составом цемента
Те же структурно-тектонические и ландшафтные условия, климатические особенности северной гумидной зоны	Содержат много дилатантных фракций мелкого и среднего песка и пыли. Малогидрофильные, вторичными слабыми межчастичными коагуляционными связями, мягкопластичная, текучепластичная консистенция, слабая степень уплотнения и литификации, низкая прочность (до десятых долей мегапаскаля), высокая деформируемость, склонность к текучести и тиксотропии. На дренированных участках средняя степень уплотнения и литификации, тугопластичная или полутвердая консистенция, структурные связи смешанного характера. Предел прочности (P_m) возрастает до единиц мегапаскаля

Среди глинистых субаквальных отложений было выделено шесть зон литификации и соответственно шесть инженерно-геологических типов пород (табл. 7).

Среди песчано-алевритовых субаквальных отложений выделяются четыре зоны литификации и соответственно четыре инженерно-геологических типа пород (табл. 8).

Инженерно-геологическая типизация элювиальных образований, делювиальных и оползневых накоплений разработана на основе инженерно-геологического анализа пород, сформировавшихся в различных структурно-тектонических и ландшафтно-климатических условиях (табл. 9).

**СХЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ТЕРРИГЕННЫХ ОСАДОЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ**

Анализ результатов выполненных исследований позволил выяснить основные закономерности и предложить принципиальную схему формирования инженерно-геологических свойств терригенных осадочных образований в процессах литогенеза (рис. 20, 21).

Инженерно-геологические свойства субаквальных терригенных осадочных образований определяются как седиментационными признаками, так и постседиментационными изменениями и контролируются формационными и фаціальными условиями (влияние климата, тектонического режима седиментации, коры выветривания областей водосбора, количества $C_{орг}$, минерального и гранулометрического состава).

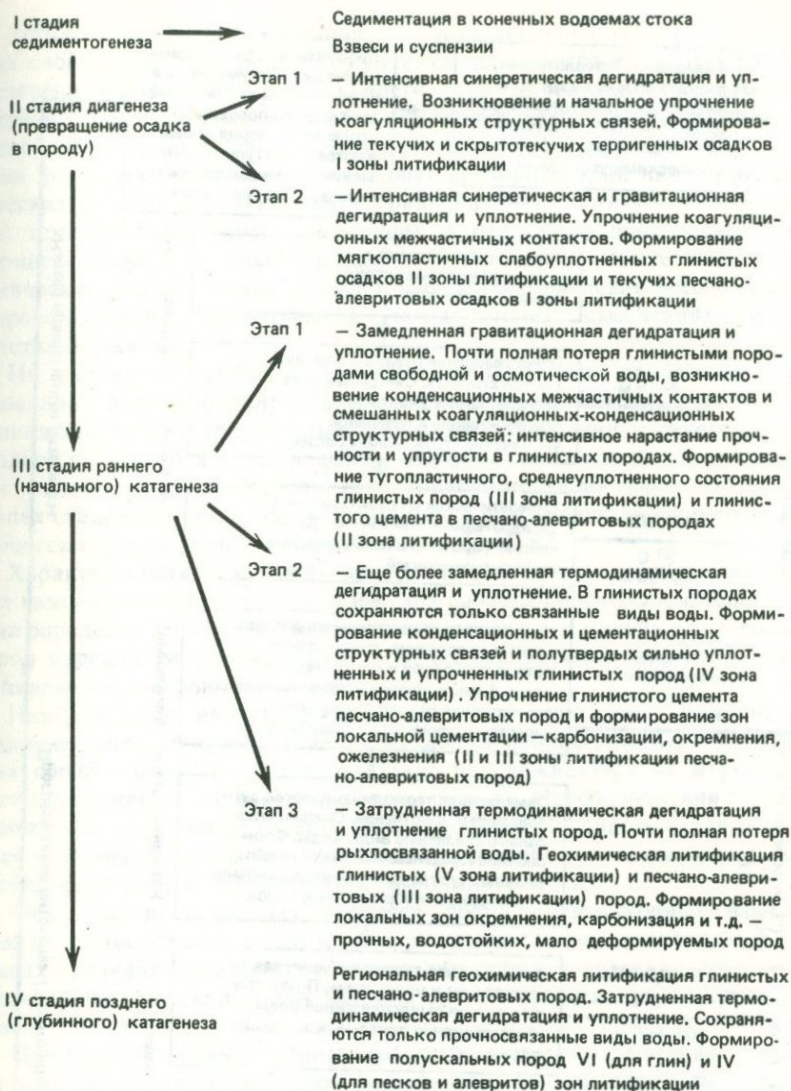
Формационный контроль седиментационных признаков осуществляется прежде всего посредством влияния вещественного состава продуктов денудации, определяемого типом коры выветривания областей водосбора, что связано с условиями в системе климат — тектонический режим, и отражается в характерных парагенезах литологических и инженерно-геологических типов пород. Так, например, процессы седиментации в мезозойское время в пределах центральных частей Русской платформы подчинялись тем закономерностям, которые были установлены Н. М. Страховым [1960] для платформенных формаций гумидных равнин, что отразилось на мелкозернистом и тонкодисперсном составе пород, отсутствии легко- и среднерастворимых солей, значительных количествах первичного органического вещества и массовом развитии аллотигенного каолинита. Отложения Каспийского бассейна отмечены признаками аридизации, что выразилось в низких содержаниях первичного органического вещества и в загипсованности пород.

Фаціальный контроль седиментационных признаков выражается в основном в распределении гранулометрических типов осадков, аллотигенных глинистых минералов и органического вещества в соответствии с законом механической дифференциации. Например, для мезозойских отложений глубоководной зоны шельфа на Русской платформе, сформировавшихся в гумидном водоеме с пенеplenизированном рельефом окружающей суши, характерен инженерно-геологический облик пород, свойственный высокодисперсным, высокогидрофильным глинистым образованиям. В породах содержатся значительные количества высокогидрофильных аллотигенных глинистых минералов, распределившихся в соответствии с законом механической дифференциации и определивших относительно высокую их физико-химическую активность и соответственно степень выраженности характерных глинистых свойств.

В прибрежно-морских и мелководных условиях формируются отложения, инженерно-геологические особенности которых определяются преобладанием в их составе песчаных и алевритовых фракций и относительно небольшой гидрофильностью глинистых минералов с высоким содержанием аллотигенного каолинита.

Отложения мелководной зоны шельфа и озерно-болотных фаций ослаблены многочисленными песчаными линзами и прослоями.

Среди седиментационных признаков, определивших современные инже-



Р и с. 20. Схема эволюции инженерно-геологических свойств терригенных осадочных образований в процессе субаквального прогрессивного литогенеза

инженерно-геологические особенности озерно-болотных отложений, особая роль принадлежит органическому веществу, играющему роль либо естественного пластификатора, либо адгезива, в зависимости от степени интенсивности постседиментационных изменений. И только для сходных фациально-литологических типов пород решающая роль в формировании их инженерно-геологических свойств принадлежит постседиментационным преобразованиям, выражающимся в аутигенном минералообразовании, перераспределении вещества, уплотнении, обезвоживании и цементации пород.

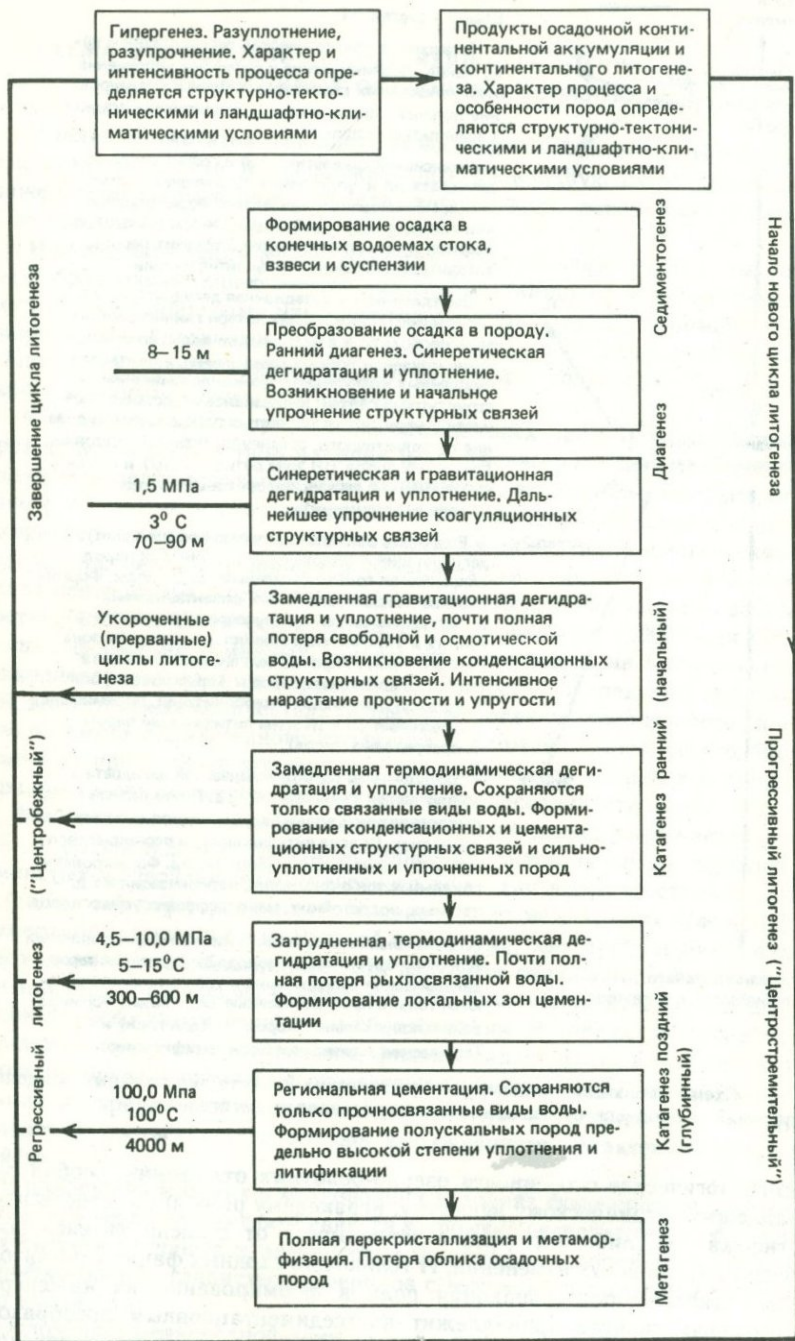


Рис. 21. Схема эволюции инженерно-геологических свойств пород в процессе полного цикла литогенеза

Указаны глубины залегания отложений, температуры и природные нагрузки

Установлены стадийный характер формирования инженерно-геологических свойств пород в процессах субаквального прогрессивного литогенеза, постепенное нарастание интенсивности постседиментационных изменений, связанное с увеличением мощности осадочного чехла и с последовательной сменой областей с различной интенсивностью диагенеза и катагенеза. Основными факторами постседиментационных преобразований инженерно-геологических свойств пород являются гравитационное и тектоническое давление, температура и поровые растворы. А основными процессами, формирующими инженерно-геологические свойства пород, следует считать геохимические, коллоидно-химические и физико-механические преобразования, сопровождающиеся уплотнением, дегидратацией, цементацией и перекристаллизацией.

На ранних этапах преобразования пород, в зоне раннего диагенеза, решающая роль в формировании инженерно-геологических свойств пород принадлежит самопроизвольным процессам расслоения и синерезиса коллоидной системы осадков, процессам диффузии и осмоса. По мере погружения осадков возрастает роль гравитационного уплотнения. На поздних этапах стадии катагенеза решающая роль в упрочнении пород принадлежит процессам цементации и кристаллизации (рис. 22).

Характер и темп аутигенного минералообразования и постседиментационных изменений инженерно-геологических свойств пород в значительной степени определяются первичным гранулометрическим и минеральным составом пород и режимом седиментации, т. е. контролируются формационными и фациальными условиями.

Наиболее чутко на факторы литогенеза реагируют глины. Влияние постседиментационных преобразований на формирование инженерно-геологических свойств пород наиболее отчетливо прослеживается на морских глинистых отложениях глубоководной зоны шельфа. Преобразования глинистых отложений, связанные с увеличением мощности осадочного чехла, выражаются в четких, закономерно направленных изменениях их плотности, влажности, прочности, водостойкости и деформируемости.

Механизм и энергетику процесса постседиментационных изменений инженерно-геологических свойств терригенных глинистых отложений в процессах субаквального прогрессивного литогенеза в условиях постепенного непрерывного опускания дна водоема можно представить следующим образом.

Приносимый реками терригенный тонкодисперсный материал, обладая огромными запасами свободной поверхности энергии, аккумулирует в процессе осадконакопления большие запасы влаги. Свежесформировавшийся глинистый осадок характеризуется высокой пористостью, сильной обводненностью, скрытотекучим состоянием и весьма слабым межчастичным сцеплением. В сильнообводненном рыхлом осадке происходит самопроизвольный коллоидно-химический процесс формирования структурной сетки, застуднение. Возникают структурные связи за счет главным образом молекулярных (ван-дер-ваальсовых) и магнитных сил сцепления. Эти связи являются весьма слабыми по своей природе и носят коагуляционно-тиксотропный характер.

Значительная часть жидкой фазы выделяется из осадков на ранних этапах диагенеза при самопроизвольных процессах расслоения коллоидной системы. Происходит отделение свободной воды и упрочнение осадков. При

Стадии литогенеза	Этапы литогенеза	Зоны уплотнения и литификации глинистых пород	Зоны литификации песчано-алевритовых пород
Диагенез	1	I	I
	2	II	
Катагенез ранний (начальный)	1	III	II
	2	IV	
	3	V	III
Катагенез поздний (глубинный)	1	VI	IV

Рис. 22. Схема преобладающих (ведущих) процессов формирования инженерно-геологических свойств пород на различных стадиях субаквального прогрессивного литогенеза

1 — синергетическая дегидратация, уплотнение и упрочнение; 2 — термодинамическая дегидратация, уплотнение и литификация; 3 — геохимическая литификация и уплотнение — цементация

погружении осадка под влиянием синерезиса и возрастающего геостатического давления постепенно отжимаются поровые растворы, мигрирующие в водоносные горизонты, продолжают процессы дегидратации и уплотнения, но интенсивность их с глубиной затухает («стадия замедленного уплотнения» по В. Д. Ломтадзе [1956], Н. Б. Вассоевичу [1960], Джш М. Уэллеру [1961]).

По мере отжатия свободной и осмотической воды происходит дальнейшее утончение экранирующих гидратно-ионных оболочек глинистых частиц, увеличение межчастичного сцепления и упрочнение коагуляционных структурных связей. На стадии катагенеза с ростом геостатического давления и отчасти температуры, когда значительная часть жидкой фазы находится в виде прочносвязанной воды (естественная влажность приближается к величине максимальной гигроскопичности), решающая роль в упрочнении пород принадлежит процессам цементации и кристаллизации коллоидов, переориентировки и агрегации глинистых частиц. На этой стадии за счет сил главных химических валентностей (ионные и ковалентные) в породах формируются прочные необратимые цементационные структурные связи. Происходит формирование ориентированных текстур, снижение коллоидальной и физико-химической активности пород в результате изменений в составе (гидрослюдизация монтмориллонита и смешанослойных фаз) и состоянии (кристаллизация аморфных коллоидов) глинистых минералов и метаморфизации органического вещества.

При таких изменениях, соответствующих степени развития процессов дегидратации, уплотнения и цементации, породы последовательно приобретают различные качественные характеристики физического состояния, прочностных свойств, деформационного поведения и водостойкости. Они последовательно переходят из скрытотекучего состояния в мягкопластичное и пластичное, а затем приобретают сильную уплотненность, полутвердую и твердую консистенцию, весьма высокие прочность, упругость, слабую деформируемость и водостойкость.

Основными движущими силами — источником изменения инженерно-геологических особенностей пород — служат как внутренние противоречия самой коллоидной системы «глинистые частицы — поровый раствор», так и внешние противоречия между геостатическим или тектоническим давлением и оказывающим ему противодействие поровым давлением в глинистых породах.

Разрешение внутренних противоречий проявляется в тенденции коллоидно-дисперсной системы к сокращению поверхностной энергии, что выражается в самопроизвольных процессах синерезиса, старения и кристаллизации коллоидов. Разрешение внешних противоречий сопровождается отжатием поровых растворов и миграцией их по водопроницаемым прослоям — коллекторам — вверх, в водоем, или в стороны, в водоносные горизонты. Таким образом, основной тенденцией этого развития является дегидратация, уплотнение, увеличение межчастичного сцепления и упрочнение пород, т. е. формирование определенных инженерно-геологических качеств. Между внутренними и внешними противоречиями существует определенная связь. Так, под влиянием внешнего геостатического давления ускоряется разрешение внутренних противоречий — активизируются процессы синерезиса, старения и кристаллизация коллоидов. В ходе формирования инженерно-геологических свойств пород в результате постепенного и плавного нарастания количественных изменений в степени дегидратированности и уплотненности пород наступают качественные изменения видов воды в породах, их физического состояния, характера межчастичных контактных взаимодействий, прочностных свойств, деформационного поведения и водостойкости.

Качественные изменения наступают в форме скачков, перерывов постепенности. Основной качественный скачок наступает при такой степени дегидратированности пород, при которой они теряют свободную и осмотическую воду. При выходе количественных изменений за пределы данного инженерно-геологического качества, за границу содержания свободной и осмотической воды, происходят коренные качественные изменения пород, выражающиеся в резком нарастании прочности и упругости. Именно на этом рубеже глинистые отложения изменяются от сильнообводненных малопрочных высокодеформирующихся осадков с коагуляционным характером структурных связей до уплотненных и упрочненных пород, обладающих упругостью, конденсационным или цементационным характером структурных связей. Поэтому мы и предлагаем за верхнюю границу катагенетических преобразований принять такие изменения пород. Такой рубеж в изученных нами отложениях Каспия намечается в интервале глубин от 70 до 90 м. Глубже, когда в породах почти не остается свободной и осмотической воды, отмечается резкое нарастание прочности и упругости. Породы приобретают твердую консистенцию весьма высокий предел прочности (до 6 МПа) и упругость.

Основным источником развития нового качественного состояния гли-

нистых пород в зоне катагенеза будут иные движущие силы, находящие свое выражение в иных процессах.

Если в зоне диагенеза решающая роль в дегидратации, уплотнении и упрочнении пород принадлежит самопроизвольным процессам расслоения и синерезиса коллоидной системы осадков, интенсивность которых усиливается под влиянием возрастающего по мере увеличения глубины залегания пород гравитационного давления, то в зоне катагенеза в уплотнении, дегидратации и упрочнении пород решающая роль принадлежит возрастающему давлению вышележащих пород или тектоническому напряжению.

Источником энергии для физико-химических преобразований пород на стадии диагенеза является внутренняя энергия самой системы, запасенная в стадии гипергенеза и освобождающаяся в процессе уравнивания коллоидной системы осадков. Движущей силой изменения осадков на стадии диагенеза являются внутренние противоречия в вещественном составе осадка и в больших запасах свободной поверхностной энергии глинистых частиц, накопленной в процессах дезинтеграции пород на стадиях гипергенеза.

Разрешение этих внутренних противоречий проявляется в минералогетрографических преобразованиях реакционноспособных веществ, в их приспособлении друг к другу и в тенденции коллоидно-дисперсной системы осадков (глинистые частицы — поровый раствор) к сокращению поверхностной энергии, что выражается в самопроизвольных процессах синерезиса, старения и кристаллизации коллоидов.

В зоне катагенеза основными движущими силами, причиной изменения пород являются уже не внутренние, присущие самой породе противоречия, как в диагенезе, а постоянно возобновляющиеся под влиянием тектонических условий (прогибание земной коры) противоречия между уплотненностью и упрочненностью пород и теми термодинамическими условиями, в которые они попадают. Основной реакцией пород на изменение термодинамических условий является их уплотнение, дегидратация и литификация.

На стадии катагенеза нарастание твердообразных свойств и прочности пород происходит не только за счет увеличения числа межчастичных контактных взаимодействий, как в диагенезе, но и в зависимости от изменения их характера и прочности. Породы приобретают новое качественное состояние, осуществляется переход от пород с коагуляционным характером структурных связей к породам с конденсационными и цементационными связями. Упрочнение пород осуществляется под влиянием как дегидратации и уплотнения, так и геохимических преобразований, которые выражаются в процессах цементации.

В зоне позднего катагенеза, соответствующей сплошной региональной литификации, метаморфизации органики, гидрослюдизации глинистых минералов и такой степени дегидратированности пород, когда в них остаются только прочносвязанные виды воды, решающая роль в упрочнении пород принадлежит геохимическим преобразованиям, сопровождающимся процессами цементации. Формируются малогидрофильные, водостойкие, весьма прочные породы.

Среди геохимических преобразований, участвующих в формировании цементационных связей в породах, особая роль принадлежит вторичному окремнению, карбонизации, гипсованию, ожелезнению, битуминизации и углефикации органического вещества. Все эти процессы и преобразования

пород ускоряются и усиливаются по мере увеличения мощности осадочного чехла и контролируются формационными и фациальными условиями.

Качественные изменения глинистых отложений, переход от старого качества, от осадков с коагуляционным характером структурных связей, т. е. от зоны диагенеза, к новому качеству, к породам с конденсационными и цементационными структурными связями, т. е. к зоне катагенеза, осуществляется не мгновенно, а происходит в виде многих небольших скачков. Такие более мелкие качественные скачки соответствуют определенной степени дегидратации и уплотнения и отражают переход от одного физического состояния в другое (скрытотекущее, мягкопластичное, пластичное, тугопластичное, полутвердое, твердое), что позволяет в каждой стадии выделить ряд этапов.

Количественным выражением меры определенного качества, т. е. того момента, когда происходит нарушение меры данного инженерно-геологического качества, служат границы зон литификации, соответствующие содержанию в породах определенных категорий свободной и связанной воды и переходу от одного физического состояния к другому.

Принципиально новое качество пород — высокие прочность, упругость и цементационный характер структурных связей — возникает, зарождается в недрах старого качественного состояния и проявляется в изменении природных контактов между частицами (от дальних коагуляционных контактов, к ближним коагуляционным, а затем к атомным конденсационным и, наконец, к цементационным фазовым контактам), в нарастании твердообразных свойств, в развитии смешанных коагуляционно-конденсационных, коагуляционно-цементационных структурных связей и появлении полутвердого и твердого состояния пород.

Основная роль в формировании парагенезов глинистых минералов в терригенных отложениях принадлежит продуктам денудации, состав которых определяется типом коры выветривания в области водосбора, однако были подмечены отчетливые черты их постседиментационных изменений, направленные на снижение содержания высокогидрофильных глинистых минералов. Так, например, в отложениях гумидной мезозойской платформенной формации изменения в составе глинистых минералов в связи с интенсификацией катагенеза выражаются в снижении физико-химической активности, гидрофильности и степени выраженности характерных глинистых свойств пород мезозоя южного и юго-западного крыльев Воронежской антеклизы.

Общая направленность постседиментационных изменений инженерно-геологических свойств пород, установленная для глинистых отложений глубоководной зоны шельфа, справедлива также для глинистых озерно-болотных и морских мелководных отложений. Однако закономерности, установленные для морских глин глубоководной зоны шельфа, для морских мелководных и озерно-болотных глинистых отложений, проявляются недостаточно четко. Многочисленные линзы и песчаные прослои, характерные для этих геолого-генетических комплексов, затушевывают, а иногда и нарушают общую вертикальную направленность изменений физико-механических свойств пород.

В формировании физико-механических свойств озерно-болотных глинистых отложений большую роль играют изменения в групповом составе органического вещества, выражающиеся в битуминизации и углефикации, в снижении количества гидрофильных (обладающих пластифицирующими

свойствами) и повышении гидрофобных (обладающих цементирующей способностью) его составляющих. Например, для глинистых пород мезозоя северного крыла Воронежской антеклизы, залегающих в зоне с небольшой интенсивностью катагенетических изменений, характерны гидрофильные формы органических и органоминеральных коллоидов, способствующих повышению физико-химической активности глинистых пород и ухудшению их инженерно-геологических качеств. По мере увеличения мощности осадочного чехла и интенсификации катагенеза меняется и групповой состав органического вещества — возрастает содержание гидрофобных его форм, играющих роль естественных адгезивов, что способствует упрочнению и улучшению инженерно-геологических качеств пород мезозоя южного крыла Воронежской антеклизы.

Интенсификация катагенетических изменений в связи с увеличением мощности осадочного чехла для песчано-алевритовых пород выражается в усилении процессов цементации по мере погружения пород. Четкой зависимости степени уплотненности от геостатического давления для этих пород не наблюдается. Литификация их происходит за счет синергетической дегидратации, старения и кристаллизации коллоидно-дисперсной составляющей, что обеспечивает усиление контактных взаимодействий, сцепление и цементацию песчано-алевритовых зерен глинистым цементом.

Такие породы могут образовывать достаточно рыхлую структурную сетку и сохранять свободную иммобилизованную воду в порах структурного каркаса. Если цементация не сопровождается осаждением дополнительного минерального вещества, породы получают лишь небольшую прочность и не приобретают водостойкости. В этом случае они склонны к разжижению и плавунности при нарушении слабых структурных связей и к тиксотропному и синергетическому упрочнению во времени. При дальнейшем погружении и эволюции упрочнение и уплотнение песчано-алевритовых пород осуществляются вследствие замещения глинистого цемента кальцитом, аморфным кремнеземом, гипсом, гидроокислами железа, органическим веществом или осаждения этих веществ в поровом пространстве.

Состав междузернового цемента определяет прочность литифицированных песчаников и алевролитов, зависит от первичного состава пород и характера поровых растворов, т. е. подчиняется фациальному и формационному контролю.

Привнос цементирующих материалов и их осаждение происходят в результате взаимодействия пород с поровыми растворами, отжимающимися при уплотнении нижележащих глинистых пород и мигрирующими в более проницаемые прослои. Вследствие таких преобразований высокоподвижные, обладающие слабым межчастичным сцеплением, склонные к разжижению, плавунности и механической суффозии песчано-алевритовые отложения мезозоя северного крыла Воронежской антеклизы на ее южном и юго-западном крыльях переходят в их сцементированные аналоги. В мезозое южного и юго-западного крыльев Воронежской антеклизы появляются зоны локальной цементации песчано-алевритовых пород — прочные, водостойкие, мало деформируемые песчаники и алевролиты.

Отчетливо проявляется влияние формационного и фациального контроля на состав цементов в песчаных и глинистых породах, определяющих прочность и водостойкость литифицированных пород. Для морских глинистых и песчано-алевритовых пород мезозоя Русской платформы характерны наи-

более прочные и водостойкие карбонатные и кремнистые цементы. В отложениях озерно-болотных фаций мезозоя формируются битуминозные и ожелезненные глины, песчаники, алевролиты. Для отложений аридного Каспийского водоема типичны гипсовые и карбонатные цементы.

В природной обстановке на характер и интенсивность проявления выявленных закономерностей оказывает влияние множество разнообразных факторов историко-геологического, минералого-петрографического и физико-химического характера. Это прежде всего геотектонические и геохимические условия формирования пород, первичный химико-минеральный и гранулометрический состав осадков, состав и минерализация поровых растворов, возможности фильтрации, наличие цементирующих веществ.

Темп постседиментационных изменений инженерно-геологических свойств пород и мощность зон литификации в значительной степени определяются тектоническим режимом седиментации, т. е. скоростью осадконакопления, перерывами в осадконакоплении, а также геологическим временем, что связано с длительностью пребывания пород в тех или иных термодинамических условиях. Более быстрому темпу литификационного уплотнения и упрочнения глинистых пород мезозоя Русской платформы по сравнению с глинистыми отложениями Каспия способствует медленный «платформенный» режим седиментации этих пород.

В условиях медленного «платформенного» осадконакопления и длительных постседиментационных преобразований в присутствии большого количества первичного органического вещества в отложениях гумидной терригенной формации Русской платформы происходят интенсивные процессы аутигенного минералообразования, синергического и гравитационного уплотнения и дегидратации пород, старения и кристаллизация коллоидов. При этом создаются наиболее благоприятные условия для геохимических преобразований, сопровождающихся миграцией подвижных в диагенезе и катагенезе карбонатов и аморфного кремнезема, с образованием участков локальной карбонизации и окремнения и формированием прочных, водостойких аргиллитоподобных пород.

«Вялости» аутигенного минералообразования и более замедленному темпу литификационного уплотнения и упрочнения глинистых отложений Каспия благоприятствовали геосинклинальный характер бассейна и сочетание аридного климата с достаточно интенсивной механической седиментацией.

Подобные условия седиментации и постседиментационных изменений, и прежде всего «вялость» аутигенного минералообразования, привели к тому, что наиболее прочные, необратимые цементационные связи в глинистых отложениях Каспия формируются на глубинах 550—600 м, что соответствует бытовым нагрузкам порядка 10 МПа и возрастанию температуры на 15 °С, тогда как для глинистых отложений мезозоя такие изменения наступают на глубинах 200—300 м, т. е. при геостатических нагрузках менее 4,5 МПа и при повышении температуры менее 5 °С. На таких глубинах в породах почти не остается свободной и энергетически слабосвязанной воды и они приобретают сильную уплотненность, полутвердую и твердую консистенцию, весьма высокие прочность (до 3—6 МПа), упругость и водостойкость. Верхняя граница зоны катагенеза в глинистых отложениях Каспия соответствует глубине погружения осадков менее 1 км. С учетом того факта, что отложения продуктивной толщи моложе плиоцена и сформировались 5—6 млн. лет назад,

далеко зашедшую их литификацию можно объяснить не только временем нахождения их в погруженном состоянии. Эти осадки оказались в центральной полосе новейшей складчатости Большого Кавказского хребта. Известны примеры бассейнов третичной седиментации, отложения которых не подвергались тектоническим воздействиям и которые лишь на глубине 2 км вступают сейчас в стадию катагенеза. Такие случаи известны из работы Е. Гамильтона [Hamilton, 1959], описывающего осадки района Венесуэлы и бассейна р. По.

На примере изученных пород показано, что ускорению процессов литификации пород способствуют дифференциальные тектонические напряжения. Несмотря на различную интенсивность вторичных изменений, терригенные отложения мезозоя Русской платформы (при погружении на 550—600 м) и Каспийского бассейна третичной и четвертичной седиментации (при погружении на 1200 м) приобретают комплекс признаков (физико-механические свойства, структуры, минеральные парагенезы, характер новообразованных минералов), свидетельствующих о том, что степень изменения этих пород не выходит за рамки начального катагенеза.

На стадию начального катагенеза указывают слабо измененные гидрофильное глинистое и органическое вещества. Фациальные типы глинистых пород содержат те аутигенные парагенезы минералов, которые возникли в диагенезе. Интенсивной региональной цементации как глинистых, так и песчаных пород не происходит. Участки локального окремнения и карбонизации глинистых пород мезозоя южного и юго-западного крыльев Воронежской антеклизы представлены аргиллитоподобными потенциально набухающими гидрофильными образованиями.

Терригенные отложения мезозоя Русской платформы и Каспийского бассейна находятся в зоне свободного водообмена. Изученный интервал не превышает зоны, когда уплотнение и упрочнение пород осуществляются за счет отжатия воды, перегруппировки частиц и цементации. В зону механической деформации и дробления частиц породы изученного интервала не вступают. При этом ожидаемое повышение температуры, согласно результатам наблюдений за геотермическим градиентом для пород мезозоя Русской платформы, не превышает 18 °С, одностороннее давление — 10 МПа, а для пород Каспийского бассейна — соответственно, 33 °С и 24 МПа.

Породы таврического терригенного флиша по степени изменения осадочного вещества, структурно-текстурным признакам и физико-механическим свойствам находятся на стадии глубинного (позднего) катагенеза, что выражается прежде всего в сплошной региональной литификации, гидрослюдизации глинистого вещества, метаморфизации органики. Формируются плотные, высокопрочные, водостойкие породы с жесткими цементационными и кристаллизационными структурными связями и с чрезвычайно низкой гидрофильностью и физико-химической активностью глинистых фракций. В горно-складчатых областях ЮБК в условиях высокой тектонической активности инженерно-геологические особенности пород в массиве определяются не столько характером и прочностью структурных связей, сколько прочностью и деформируемостью пород в зонах, ослабленных тектонической нарушенностью. Прочность пород по зонам дробления и тектоническим трещинам, выполненным тектонической «глинкой трения», падает до сотых долей мегапаскаля.

Хорошо известны работы В. Д. Ломтадзе [1956], Р. Мида [Meade,

1962, 1966], Г. С. Рабаева [1969], Р. С. Зиангирова [1974], устанавливающие отчетливое влияние вещественного, и в частности минерального, состава глинистых осадков на скорость их уплотнения и, следовательно, на мощность зон литификации.

Все эти обстоятельства свидетельствуют о том, что не существует какой-то определенной и постоянной мощности зон диагенеза и катагенеза. Вероятно, поэтому, а также и потому, что разные авторы пользуются различными критериями для установления зон литогенеза, в литературе мы встречаемся со столь разноречивыми мнениями по поводу мощности зон диагенеза и катагенеза. Однако наиболее часто называются цифры 10—15 м для зоны, когда завершается наиболее интенсивное уплотнение осадков, и 100—500 м для глубин, с которых наступает стадия глубокого погружения, т. е. зона катагенеза, характеризующаяся замедленными темпами уплотнения и появлением литифицированных пород. Подобные цифры указываются в работах Х. Цюллинга [Zullig, 1956], Н. М. Страхова [1960], Г. Мюллера [1971].

Глинистые отложения изученного разреза на Каспии вступают в стадию катагенеза на глубинах около 70—90 м, т. е. можно считать, что для пород изученного разреза катагенетические изменения начинаются при давлении, не превышающем 15 МПа, и повышении температуры менее чем на 3 °С. В интервале глубин от 70—90 до 550—600 м естественная влажность приближается к величине максимальной гигроскопичности, в породах почти не остается свободной и энергетически слабосвязанной воды и они приобретают твердообразные свойства и цементационный характер структурных связей.

Следует иметь в виду, что установленные закономерности в формировании инженерно-геологических свойств терригенных образований проявляются в качестве тенденции. Реализация возможности формирования инженерно-геологических свойств терригенных образований по разработанной схеме может осуществиться, превратиться в действительность только в определенных условиях и только для случая терригенных субаквальных отложений, формирующихся в условиях постепенного непрерывного опускания земной коры. В природе действие этих закономерностей наталкивается на целый ряд противодействующих сил и тенденций, которые могут нарушить реализацию возможности проявления этих закономерностей в данной конкретной форме.

Часто в природе приходится встречаться с нарушением региональной вертикальной зональности физико-механических свойств пород, так как на смену общей термодинамической закономерности приходят закономерности формационные и фациальные.

При изучении геологических разрезов исследователи часто сталкиваются с вертикальной сменой фациально-литологических типов пород, когда первичные седиментационные признаки пород выступают как ведущие факторы формирования их физико-механических свойств и затушевывают проявление общей направленности процесса. Это дает основание многим исследователям [Абрамов, 1970; Кригер, 1971; Денисов, 1972; и др.] полагать, что зависимости плотности и прочности глинистых пород от глубины залегания не существует.

Наряду с региональными постседиментационными изменениями существуют изменения пород, связанные с локальными факторами. Они могут нарушать общий характер стадийности для отдельных районов. Это чаще всего бывает связано с геотектоническими движениями положительного знака и

перерывами в осадконакоплении, с процессами выщелачивания солей или, наоборот, вторичной цементации.

Известно достаточно много примеров влияния различных геологических процессов, нарушающих нормальный ход формирования инженерно-геологических свойств пород в процессах прогрессивного субаквального литогенеза. Хорошо известны исследования, свидетельствующие о влиянии диффузионного выщелачивания на разуплотнение и разупрочнение пород [Окнина, Приклонский, 1960; Бьеррум, 1958; Затенацкая, 1974; и др.].

Процессы вторичной цементации аморфным кремнеземом, карбонатами, гидроокислами железа, органическим веществом, гипсом на достаточно ранних стадиях формирования пород могут способствовать сохранению на больших глубинах недоуплотненных, но сильно упрочненных пород [Коробанова, 1970а, б; Коробанова, Затенацкая, 1972; Денисов, 1972; и др.]. Например, процессы вторичной цементации аморфным кремнеземом в условиях медленного «платформенного» режима седиментации способствовали сохранению на достаточно больших глубинах южного и юго-западного крыльев Воронежской антеклизы недоуплотненных скрытопластичных, но сильно упрочненных аргиллитоподобных глинистых пород мезозоя с цементационными межчастичными контактами, содержащими большое количество иммобилизованной воды в порах структурного каркаса. И наоборот, известны случаи, когда процессы цементации сопровождаются формированием переуплотненных, литифицированных пород на ранних стадиях [Кошечкин, 1955; Поляков, 1973; Кофф, 1973].

Процессы перераспределения вещества при постдиагенетических изменениях происходят с частичным его выносом, что может наряду с цементацией одних участков приводить к образованию высокопористых пород [Копелиович, 1965; Депплес, 1971]. На больших глубинах (1500—2000 м) может наблюдаться разуплотнение и разупрочнение глин за счет вторичной гидрослюдизации монтмориллонита [Карпова, 1967; Депплес, 1971; Кривошеева, 1972].

В геосинклинальных районах нормальный ход формирования физико-механических свойств может нарушаться влиянием дислокационного и контактного метаморфизма, связанного с дифференциальным тектоническим напряжением (стресс). Таким образом, закономерно направленные изменения физико-механических свойств пород могут быть нарушены влиянием различных геологических факторов, проявляющихся при сложных и многосторонних процессах формирования пород.

При недостаточном учете всех действующих факторов можно впасть в ошибки. Подобные ошибки иногда допускаются некоторыми исследователями, пытающимися установить точные количественные взаимоотношения между давлением и уплотненностью глин [Мухин, 1965], а также полагающими, что закономерных, строго направленных зависимостей физико-механических свойств пород от глубины их погружения не существует [Абрамов, 1970; Денисов, 1972; и др.].

Все эти обстоятельства превращают детальное выяснение закономерностей формирования инженерно-геологических свойств терригенных осадочных образований в пределах каждого отдельно взятого региона в индивидуальную проблему.

И, тем не менее, полученные нами закономерности очевидны, они подтверждаются экспериментальными исследованиями, моделирующими грави-

тационное уплотнение глинистых пород [Ломтадзе, 1953; Skempton, 1953; 1970; Meade, 1962, 1966; Рабаев, 1969; Зиангиров, 1974].

Установленные зависимости между пористостью и глубиной залегания для изученных глинистых пород близки к диаграммам и зависимостям, полученным В. Д. Ломтадзе [1956], Н. Б. Вассоевичем [1960], Дж. М. Уэллсром [1961] и др.

Границы между областями пород с различной интенсивностью изменений физико-механических свойств не совпадают со стратиграфическими границами, они отражают качественные изменения пород и соответствуют изолиниям равных глубин залегания, т. е. определяются тектоническим строением и развитием региона.

На любом из охарактеризованных этапов развития, когда период погружения сменяется воздыманием земной коры, терригенные осадочные образования могут быть выведены в поверхностные горизонты, вступить в стадию гипергенеза и начать выветриваться.

Если подходить к выветриванию как к завершающей стадии цикла литогенеза, то гипергенез следует рассматривать в качестве регрессивной фазы литогенеза [Вассоевич, 1962].

Следуя схеме Е. В. Шанцера [1966], элювиальные образования, делювиальные и оползневые накопления мы рассматриваем не только как результат регрессивного литогенеза, но и как продукты континентального осадкообразования, континентальной осадочной аккумуляции и континентального литогенеза. Часть продуктов выветривания временно задерживается на путях миграции, образуя новые континентальные осадочные породы, среди которых важная роль принадлежит склоновым отложениям.

Особое место занимают генетические типы делювиальных и оползневых накоплений, которые являются продуктом самых начальных стадий разрушения и изменения коренных пород, итогом их ближайшего переотложения в результате временной задержки на склоне. Они не испытывают интенсивной сортировки и дифференциации материала и сохраняют большое минералогическое сходство с породами коренной основы, между тем как физико-механические свойства пород при этом резко меняются.

Первичные связи, возникающие в фазу прогрессивного литогенеза, разрушаются, и в процессах континентального литогенеза формируются вторичные, как правило менее прочные, структурные связи.

Элювиальные образования, делювиальные и оползневые накопления склонов, формируясь под влиянием многих переменных факторов континентального литогенеза, отличаются очень большой неоднородностью в отношении как гранулометрического состава, так и степени увлажнения. Динамику континентального литогенеза определяет сложный комплекс факторов, резко меняющихся на сравнительно небольших расстояниях в зависимости от состава коренных пород, рельефа, гидрогеологической обстановки, соотношения скоростей денудации и аккумуляции. Сложный комплекс изменчивых факторов играет роль в формировании так называемых ослабленных зон, по которым прочность пород снижается в десятки или даже в сотни раз и повышается их деформируемость. Зонами ослабления в коре выветривания являются литологические прослои пониженной прочности, подвергшиеся избирательному выветриванию, трещины разгрузки, литогенетические, гипергенные и тектонические трещины, по которым проникают агенты выветривания. Так, например, на ЮБК прочность пород терригенного флиша

по гипергенным трещинам падает до сотых и тысячных долей мегапаскаля. «Ослабленные зоны» в делювиальных и оползневых накоплениях приурочены к литологическим прослоям пониженной прочности, к зонам увлажнения и выщелачивания, к оползневым и гипергенным трещинам, к старым поверхностям скопления. «Ослабленные зоны» оползневых накоплений ЮБК характеризуются пониженной прочностью (на сдвиг, одноосное и трехосное сжатие) и незатухающей или даже прогрессирующей ползучестью с постоянной вязкостью порядка 10^{14} — 10^{16} Па · с. Среди литогенетических процессов, участвующих в формировании физико-механических свойств пород «ослабленных зон» в делювиальных и оползневых накоплениях этого района, особое место принадлежит гидратации и диффузионному выщелачиванию, которые протекают под влиянием атмосферных осадков и слабоминерализованных подземных вод, фильтрующихся сквозь толщу склоновых отложений.

Формирование инженерно-геологических свойств элювиальных образований, делювиальных и оползневых накоплений осуществляется под влиянием факторов континентального литогенеза, тесно связано с выветриванием, денудацией, континентальной осадочной аккумуляцией и контролируется условиями в системе климат — тектонический режим. Для этих пород характерна общая тенденция к разуплотнению, снижению прочности и повышению деформируемости. Однако характер и различный диапазон изменений инженерно-геологических свойств пород на склонах в процессах выветривания, транспортировки и вторичной осадочной континентальной аккумуляции и континентального литогенеза определяются ландшафтно-климатическими, структурно-тектоническими условиями района и степенью литифицированности коренных пород, т. е. этапом развития пород, когда ход прогрессивного литогенеза был прерван и они вступили в стадию гипергенеза. Степень раздробленности материала, гидрофильность и мощность делювиальных и оползневых отложений в значительной степени определяются степенью литификации коренных пород, климатическими особенностями и орогенным фактором территории, обуславливающими интенсивность и соотношение скоростей процессов денудации и аккумуляции.

В горно-складчатых областях в условиях сильно расчлененного рельефа в районах, где развиты высоколитифицированные породы коренной основы, гипергенез останавливается на первом этапе, где преобладает механическое разрушение с образованием щебнисто-дресвяных продуктов с дисперсной песчано-глинистой составляющей. Благодаря преобладанию скорости денудации над скоростью выветривания крупнообломочные образования с песчано-глинистой составляющей представляют собой в основном продукты механической дезинтеграции коренных пород и имеют черты лишь начальных стадий химического выветривания. Выветривание захватывает только неустойчивые компоненты — углистое вещество, сульфиды железа, сидерит и другие железистые карбонаты. Чрезвычайно сильная дислоцированность и тектоническая трещиноватость пород в горно-складчатых областях с высокой тектонической активностью способствуют энергичному проникновению агентов выветривания на большую глубину. Это обстоятельство и избирательное выветривание в отношении аргиллитовых прослоев затушевывают проявление зональности в коре выветривания слоисто-складчатых пород терригенного флиша.

На выложенных участках склонов формируются продукты более интенсивной механической дезинтеграции и начальных стадий химического разло-

жения коренных пород. Подобная направленность процесса формирования инженерно-геологических свойств пород была установлена для оползневых склонов ЮБК и Черноморского побережья Кавказа в зонах развития терригенного флиша [Аносова и др., 1976].

Так, например, на крутых склонах в коре выветривания таврического флиша ЮБК формируются малогидрофильные ненабухающие, неводостойкие образования, обладающие малой водоудерживающей способностью и слабым межчастичным сцеплением, склонные к разжижению и вязкому течению при сравнительно невысоких абсолютных величинах влажности, соответствующих их полному водонасыщению. Инженерно-геологические особенности глинизированных продуктов выветривания аргиллитов терригенного таврического флиша вполне коррелируются с составом высокодисперсной части пород, представленной мало измененными при выветривании, преобразованными процессами глубинного катагенеза, хорошо окристаллизованными малогидратированными гидрослюдами, близкими по структуре к слюдам мусковитового типа. На выположенных участках склонов в делювиальных и оползневых накоплениях прослеживаются некоторые изменения в составе глинистых минералов, которые намечаются еще в коре выветривания и выражаются в тенденции к появлению смешанослойных образований типа гидрослюда—монтмориллонит. В делювиальных и оползневых накоплениях формируются и упрочняются вторичные структурные связи. В отличие от глинизированных продуктов разрушения аргиллитов таврического флиша коры выветривания, делювиальные и оползневые накопления на выположенных участках склонов характеризуются большей гидрофильностью, пластичностью, более высоким межчастичным сцеплением, склонностью к небольшому набуханию и деформациям типа ползучести.

В горно-складчатых областях, где коренные породы сформировались в период существования в геосинклинальной зоне платформенного тектонического режима, и в районах с платформенным режимом в условиях пологих склонов, сглаженного или равнинного рельефа прослеживается четко выраженная зональность в коре выветривания с сильно развитыми формами химического выветривания при условии умеренного или теплого гумидного климата. Зональность физических и химических форм выветривания, а также последовательность выноса химических элементов устанавливаются в соответствии с известными схемами.

В горно-складчатых районах, где высокопрочные породы скального или полускального типа преобразуются в глинисто-крупнообломочные накопления склонов, коренным образом меняются свойства пород. В платформенных условиях, где коренные породы представлены дисперсными среднелитифицированными грунтами, наблюдается та же тенденция к разуплотнению, снижению прочности и повышению деформируемости пород, но диапазон этих изменений значительно меньше. Типичными примерами подобных условий формирования инженерно-геологических свойств элювиальных образований, делювиальных и оползневых накоплений могут служить области распространения майкопских глин олигоцена — нижнего миоцена Черноморского побережья Кавказа и мезозоя Русской платформы в районах Курской магнитной аномалии и Ульяновского Поволжья [Аносова и др., 1976].

В иных климатических зонах условия формирования инженерно-геологических свойств элювиальных образований, делювиальных и оползневых склоновых накоплений имеют свою специфику. Так, например, для южного

аридного климата характерно формирование в породах вторичных цементационных структурных связей за счет вторичной гипергенной цементации. В климатических условиях северного гумидного типа среди элювиальных образований и склоновых отложений типичны слабые водонасыщенные грунты с высоким содержанием дилатантных песчано-алевритовых фракций, низкой гидрофильностью и физико-химической активностью тонкодисперсных фракций. Сформировались они при избыточном увлажнении и замедленных темпах химического выветривания. Подобные условия формирования пород типичны для районов распространения талых четвертичных отложений северных районов Западной Сибири [Инженерная геология СССР ..., 1976].

Разумеется, природные условия земной поверхности, где формируются терригенные элювиальные, делювиальные и оползневые склоновые образования, настолько разнообразны, что приведенные выше закономерности часто осложняются наложением ряда дополнительных факторов, благодаря чему формирование инженерно-геологических свойств пород не всегда укладывается в рамки вышеописанной схемы. Хорошо известны случаи вторичного гипергенного уплотнения и упрочнения элювиальных и склоновых образований за счет высыхания и гипергенной цементации. Такие явления характерны для жаркого аридного климата [Парабучев, 1971], но известны случаи формирования «гипергенных корок» и в условиях умеренного и холодного гумидного климата [Горькова, 1965; Кофф, 1973; Gardermeister, 1975].

Однако достоверность общей направленности процесса подтверждается большим фактическим материалом [Аносова, 1966; Аносова и др., 1976; Инженерная геология СССР..., 1976; и др.].

Мы полагаем, что предложенная схема достаточно хорошо объясняет механизм и общую направленность формирования инженерно-геологических свойств терригенных осадочных образований.

Предложенная схема имеет следующие преимущества и отличительные особенности:

1) позволяет представить закономерности формирования инженерно-геологических свойств полифациальных терригенных отложений на протяжении полного цикла литогенеза;

2) отражает диалектическую сущность природного естественноисторического процесса обезвоживания, уплотнения и упрочнения пород на стадиях субкавального прогрессивного литогенеза;

3) дает возможность учитывать влияние формационных и фациальных условий на седиментационные признаки и постседиментационные изменения пород, сформировавшихся в условиях субкавального прогрессивного литогенеза, а также ландшафтно-климатических и структурно-тектонических условий на инженерно-геологические особенности пород, образовавшихся в фазу регрессивного литогенеза в результате процессов вторичной осадочной континентальной склоновой аккумуляции и континентального литогенеза.

Выявленные факторы и условия, способствующие нормальному процессу формирования инженерно-геологических свойств пород, и факторы и условия, затухающие или нарушающие общие тенденции в их эволюции, позволяют вводить соответствующие ограничения в применение предложенной схемы и устанавливать конкретные закономерности формирования свойств пород в соответствии с общими тенденциями и с учетом региональных условий.

ВЫВОДЫ

1. Эволюция инженерно-геологических свойств терригенных осадочных образований происходила на протяжении полного цикла литогенеза, включая стадии субаквального прогрессивного и регрессивного литогенеза, а также процессы вторичной осадочной склоновой аккумуляции и континентального литогенеза.

В формировании инженерно-геологических свойств пород седиментационные признаки выступают как ведущие факторы. Для сходных фациально-литологических типов решающая роль в формировании их свойств принадлежит постседиментационным изменениям.

Последовательное нарастание интенсивности постседиментационных изменений инженерно-геологических свойств пород, связанное с увеличением мощности осадочного чехла, имеет стадийный характер.

Первичные структурные связи, возникшие в фазу субаквального прогрессивного литогенеза, в фазе регрессивного литогенеза разрушаются, а в процессах склоновой осадочной континентальной аккумуляции формируются вторичные, как правило менее прочные, структурные связи.

Характер и диапазон изменений инженерно-геологических свойств пород в фазе регрессивного литогенеза и в процессах транспортировки и вторичной осадочной континентальной аккумуляции и континентального литогенеза определяются ландшафтно-климатическими, структурно-тектоническими условиями района и степенью литифицированности материнских пород, т. е. этапом развития пород, когда ход прогрессивного литогенеза был прерван и они вступили в стадию гипергенеза.

2. Седиментационные признаки, характер и интенсивность постседиментационных изменений инженерно-геологических свойств пород контролируются формационными и фациальными условиями. Формационный контроль седиментационных признаков осуществляется прежде всего посредством влияния вещественного состава продуктов денудации, определяемого типом кор выветривания областей водосбора, что связано с условиями в системе климат — тектонический режим, и отражается в характерных парагенезах литологических и инженерно-геологических типов пород. Фациальный контроль седиментационных признаков выражается в основном в распределении гранулометрических типов осадков, аллотигенных глинистых минералов и органического вещества в соответствии с законом механической дифференциации и определяет литологические и соответственно инженерно-геологические типы пород.

Формационный и фациальный контроль постседиментационных преобразований осуществляется посредством влияния на характер и темп изменений инженерно-геологических свойств пород первичного гранулометрического и минерального состава, климата и режима седиментации.

Наиболее отчетливо постседиментационные преобразования инженерно-геологических свойств пород, закономерно направленные изменения плот-

ности, влажности, прочности, деформируемости и водостойкости прослеживаются для морских глинистых отложений глубоководной зоны шельфа.

Многочисленные линзы и прослои песчано-алевритового материала, характерные для морских мелководных и озерно-болотных глинистых отложений, затушевывают, а иногда и нарушают общие закономерности, установленные для морских глин глубоководной зоны шельфа.

В формировании инженерно-геологических свойств озерно-болотных глинистых отложений большую роль играют изменения в групповом составе органического вещества, направленные на снижение содержания гидрофильных его форм как естественных пластификаторов, способствующих повышению физико-химической активности пород, и на увеличение содержания гидрофобных форм органического вещества как естественного адгезива, участвующего в формировании цементационных структурных связей в породах.

Литификация песчано-алевритовых пород осуществляется за счет синергической дегидратации, старения и кристаллизации коллоидно-дисперсной составляющей, что обеспечивает усиление контактных взаимодействий, сцепление песчано-алевритовых зерен глинистым цементом. На поздних стадиях постседиментационных изменений уплотнение и упрочнение песчано-алевритовых пород происходят вследствие замещения глинистого цемента кальцитом, аморфным кремнеземом, гипсом, гидроокислами железа, органическим веществом и т. д. или осаждения этих веществ в поровом пространстве. В результате этих преобразований легкоподвижные, обладающие слабым межчастичным сцеплением, склонные к плавунности, тиксотропии и механической суффозии песчано-алевритовые породы преобразуются в их сцементированные аналоги.

Более быстрому темпу литификационного уплотнения и упрочнения пород способствуют медленный «платформенный» режим седиментации и высокое содержание первичного органического вещества. В платформенных отложениях гумидных равнин при медленном «платформенном» осадконакоплении и длительном диагенезе в присутствии большого количества первичного органического вещества активизируются процессы аутигенного минералообразования и перераспределения вещества, ускоряющие темпы литификационного уплотнения и упрочнения пород. Создаются наиболее благоприятные условия для геохимических преобразований, сопровождающихся миграцией карбонатов и аморфного кремнезема и формированием прочных, мало деформирующихся водостойких пород.

Замедленному темпу аутигенного минералообразования и литификационного уплотнения и упрочнения пород благоприятствуют условия геосинклинального аридного бассейна — высокие скорости осадконакопления, достаточно интенсивная механическая седиментация и небольшое количество первичного органического вещества.

3. Основная роль в формировании парагенезов глинистых минералов, определяющих инженерно-геологические особенности пород, принадлежит продуктам денудации, состав которых определяется типом коры выветривания области водосбора. Однако установлены отчетливые черты их постседиментационных изменений, направленные на снижение содержания высокогидрофильных глинистых минералов.

Влияние постседиментационных изменений глинистых минералов на инженерно-геологические свойства пород выражается в снижении физико-

химической активности, гидрофильности и степени выраженности характерных «глинистых» свойств пород по мере увеличения мощности осадочного чехла и интенсификации катагенеза.

4. Процесс постседиментационных изменений инженерно-геологических свойств субаквальных глинистых отложений характеризуется следующим механизмом. С момента аккумуляции на дне бассейна в глинистом осадке происходит формирование весьма слабой структурной сетки преимущественно за счет молекулярных сил Ван-дер-Ваальса. По мере погружения осадков в результате постепенного и плавного возрастания количественных изменений в степени дегидратированности и уплотненности пород наступают качественные изменения видов воды в породах, их физического состояния, характера межчастичных контактных взаимодействий, прочностных свойств, деформационного поведения и водостойкости. Основной качественный скачок соответствует такой степени дегидратированности и уплотненности пород, при которой они теряют свободную и осмотическую воду, что выражается в изменении характера их структурных связей и в резком нарастании прочности и упругости. Более мелкие качественные скачки отражают переход от одного физического состояния к другому и проявляются в изменении природных межчастичных контактов (от дальних коагуляционных к ближним коагуляционным, а затем к атомным конденсационным и, наконец, к фазовым цементационным).

Источником энергии для инженерно-геологических преобразований осадков является внутренняя энергия коллоидно-дисперсной системы осадков, запасенная в стадию гипергенеза при дезинтеграции пород. Разрешение внутренних противоречий коллоидной системы осадков проявляется в тенденции к сокращению поверхностной энергии, что выражается в самопроизвольных физико-химических процессах синерезиса, старения и кристаллизации коллоидов.

Источником энергии для постдиагенетических инженерно-геологических преобразований пород являются внешние противоречия между их уплотненностью и упрочненностью и теми термодинамическими условиями, в которые породы попадают. Изменение внешних термодинамических условий способствует уплотнению, дегидратации и нарастанию твердообразных свойств пород.

Наращение прочности и упругости пород в зоне катагенеза происходит при увеличении числа межчастичных контактных взаимодействий и изменении их характера и прочности. Породы переходят в новое качественное состояние, изменяясь от пород с коагуляционным характером структурных связей к породам с конденсационными и цементационными структурными связями. Упрочнение пород осуществляется не только за счет дегидратации и уплотнения, но и в результате геохимических преобразований, сопровождающихся процессами цементации.

5. Основными факторами постседиментационных изменений инженерно-геологических свойств пород следует считать гравитационное и тектоническое давление, температуру и поровые растворы. А основными процессами, формирующими инженерно-геологические свойства пород, — геохимические, коллоидно-химические и физико-механические преобразования, сопровождающиеся снижением физико-химической активности, уплотнением, дегидратацией, цементацией и перекристаллизацией пород.

На ранних этапах преобразования пород, в зоне раннего диагенеза,

решающая роль в формировании их инженерно-геологических свойств принадлежит самопроизвольным процессам расслоения и синерезиса коллоидной системы осадков, процессам диффузии и осмоса. По мере погружения осадков возрастает роль гравитационного уплотнения. На поздних этапах стадии катагенеза решающая роль в упрочнении пород принадлежит процессам цементации и кристаллизации.

6. Наряду с региональными постседиментационными изменениями существуют изменения пород, связанные с локальными факторами, которые могут нарушить нормальный ход постседиментационных изменений и общий характер стадийности для отдельных районов. Эти факторы чаще всего бывают связаны с перерывами в осадконакоплении, с процессами выщелачивания или, наоборот, вторичной цементации.

Процессы вторичной цементации аморфным кремнеземом на достаточно ранних стадиях формирования пород в условиях медленного «платформенного» режима седиментации способствуют сохранению на достаточно больших глубинах недоуплотненных скрытотекучих или скрытопластичных, но сильно упрочненных пород с цементационными межчастичными контактами, содержащих большое количество иммобилизованной воды в порах структурного каркаса.

Процессы цементации могут сопровождаться также формированием переуплотненных литифицированных пород на ранних стадиях.

Перераспределение веществ при постдиагенетических изменениях может происходить с частичным их выносом, что наряду с цементацией одних участков иногда приводит к образованию на больших глубинах высокопористых пород.

В том случае, когда первичные седиментационные признаки выступают как ведущие факторы формирования инженерно-геологических свойств пород, они могут затушевывать или нарушать региональную вертикальную зональность, так как в природе часто на смену общей термодинамической закономерности приходят закономерности формационные и фациальные.

7. Для характеристики стадийных изменений терригенного комплекса рекомендуется использовать глинистые отложения, чутко реагирующие на факторы литогенеза. В качестве критерия для характеристики стадийных изменений рекомендуются показатели уплотненности и консистенции, как наиболее простые, объективные и отражающие сущность качественных изменений плотности, дегидратированности и упрочненности пород.

Завершением стадии диагенеза предлагается считать такую степень дегидратированности и уплотненности глинистых пород, когда они теряют свободную и осмотическую воду, что соответствует переходу к стадии замедленного уплотнения и к новому качественному состоянию пород — изменению характера структурных связей, резкому нарастанию твердообразных свойств (прочности, упругости).

Завершением стадии раннего катагенеза предлагается считать такую степень дегидратированности пород, когда в них остаются только прочно-связанные виды воды и отмечается резкое снижение гидрофильности физико-химической активности пород, что соответствует сплошной региональной литификации, гидрослюдизации глинистых минералов, метаморфизации органического вещества. Более мелкие качественные скачки в изменении свойств пород, соответствующие переходу одного их физического состояния

в другое (скрытотекучее, пластичное, полутвердое, твердое), могут служить критериями для выделения этапов литогенеза.

Показатели уплотненности и консистенции отражают содержание в породах определенных категорий воды и являются количественным выражением меры определенного инженерно-геологического качества пород и соответственно критериями для выделения границ зональных изменений и инженерно-геологических типов пород.

Мощность зон литификации и соответственно глубины погружения границ диагенеза и катагенеза обуславливаются темпом постседиментационных изменений пород, который, в свою очередь, определяется их вещественным составом, тектоническим режимом седиментации, т. е. скоростью осадконакопления, перерывами в осадконакоплении, а также геологическим временем, что связано с длительностью пребывания пород в тех или иных термодинамических условиях.

8. Инженерно-геологический анализ стадий литогенеза позволил разработать инженерно-геологическую типизацию субаквальных отложений.

В зоне диагенеза формируются породы слабой степени уплотнения и литификации, обладающие высокой гидратированностью, рыхлостью структуры, слабым межчастичным сцеплением коагуляционного характера, высокой деформируемостью.

В стадии диагенеза выделены два этапа и соответственно две зоны литификации и инженерно-геологических типов пород.

Для первого этапа характерны скрытотекучее состояние и склонность к разжижению и текучести, для второго — мягкопластичное состояние и склонность к большим пластическим деформациям.

Для зоны раннего катагенеза характерны породы средней и высокой степени уплотнения и литификации, смешанный, конденсационный, или цементационный характер межчастичных структурных связей, та или иная степень уплотненности, дегидратированности и склонности к гидратации и набуханию.

В стадии раннего катагенеза выделены три этапа и соответственно три зоны литификации и инженерно-геологических типов пород. Для первого типа характерны средняя степень уплотнения и дегидратации, тугопластичная консистенция, склонность к значительным пластическим деформациям и ползучести. Для второго — высокая степень уплотнения и дегидратации, полутвердое состояние, склонность к активной гидратации, набуханию и небольшим деформациям типа ползучести (при нагрузках, близких к разрушающим), отсутствие водостойкости (полная потеря прочности в воде). Отличительной чертой пород третьего типа является наличие участков локального окремнения и карбонизации, обладающих цементационным характером структурных связей, высокой прочностью, упругостью и водостойкостью, но сохраняющих физико-химическую активность глинистых минералов, что проявляется в склонности к активной гидратации и набуханию нарушенных образцов (потенциально набухающие).

Для пород зоны позднего катагенеза характерны предельно высокая степень уплотнения и литификации, цементационный тип структурных связей, упругость, водостойкость, низкая гидрофильность и физико-химическая активность глинистых минералов. В квиважированных породах тектонически активных горно-складчатых областей формируются зоны, ослабленные тектонической нарушенностью, с весьма низкой прочностью и склонностью

к разжижению и текучести при водонасыщении, динамических нагрузках и весьма малых напряжениях сдвига.

9. Формирование инженерно-геологических свойств элювиальных образований, делювиальных и оползневых накоплений склонов зависит от сочетания множества переменных факторов континентального литогенеза. Среди этих пород наблюдается пестрая и запутанная смена литологических и инженерно-геологических типов, и их невозможно уложить в рамки единой и относительно простой схемы, как это сделано для пород морского генезиса.

Комплекс факторов континентального литогенеза, резко меняющихся на малых расстояниях (в зависимости от состава материнских пород, рельефа, гидрогеологической обстановки, соотношения скоростей денудации и аккумуляции), определяет большую неоднородность пород и наличие «ослабленных зон», по которым прочность элювиальных, делювиальных и оползневых накоплений снижается в десятки и сотни раз и повышается их деформируемость.

Зонами ослабления в коре выветривания могут быть литологические прослои пониженной прочности, подвергшиеся избирательному выветриванию, трещины разгрузки, литогенетические, гипергенные и тектонические трещины, по которым проникают агенты выветривания.

«Ослабленные зоны» делювиальных и оползневых накоплений приурочены к литологическим прослоям пониженной прочности, к зонам повышенного увлажнения и выщелачивания, к оползневым и гипергенным трещинам, к старым поверхностям скольжения.

10. Инженерно-геологический анализ элювиальных, делювиальных и оползневых накоплений, сформировавшихся в различных структурно-тектонических и ландшафтно-климатических условиях, позволил разработать их инженерно-геологическую типизацию.

В горно-складчатых областях с высокой тектонической активностью в условиях сильно расчлененного рельефа и гумидного климата элювиальные образования, делювиальные и оползневые накопления склонов, являющиеся продуктами главным образом механической дезинтеграции полускальных высоколитифицированных пород при выветривании, элювиообразовании, транспортировке и вторичной осадочной континентальной аккумуляции, сохраняют большое минералого-петрографическое сходство с коренными породами. Однако при этом наблюдается большой диапазон изменений физико-механических свойств пород. Резко снижается прочность и водостойкость пород, повышается их деформируемость. Образуются малогидрофильные, ненабухающие, неводостойкие крупнообломочные породы с дисперсной песчано-глинистой составляющей, обладающей малой водоудерживающей способностью, а в ослабленных зонах и слабым межчастичным сцеплением, склонностью к разжижению и вязкому течению при водонасыщении.

В тех же условиях, но на выположенных участках склонов формируются продукты более интенсивной механической дезинтеграции и начальных стадий химического разложения коренных пород, отличающиеся большей гидрофильностью и физико-химической активностью дисперсной составляющей и склонностью ослабленных зон к пластическим деформациям типа незатухающей или прогрессирующей ползучести.

В районах с платформенным режимом в условиях пологих склонов, сглаженного или равнинного рельефа, теплого или умеренного гумидного

климата наблюдается небольшой диапазон изменений физико-механических свойств пород. В коре выветривания четко выражена зональность. Формируются продукты механической дезинтеграции и химического выветривания дисперсных пород средней или высокой степени литификации — гидрофильные образования, склонные к набуханию, пластическим деформациям типа незатухающей, а в ослабленных зонах и прогрессирующей ползучести.

Для аридных климатических зон характерны вторичная гипергенная цементация и формирование упрочненных, но часто неводостойких пород с вторичными цементационными структурными связями.

Для климатических особенностей северных гумидных зон характерны породы, сформировавшиеся в условиях избыточного увлажнения, при замедленных темпах химического выветривания, — малогидрофильные, малопрочные, высокодеформирующиеся дисперсные образования со слабыми вторичными коагуляционными структурными связями и высоким содержанием песчано-алевритовых дилатантных фракций.

ЛИТЕРАТУРА

- Абрамов С. П.* Уплотнение глинистых осадков в процессе диагенеза, его причины и следствия. — В кн.: Проблемы инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1970, с. 89—95.
- Аккерман Е.* Тиксотропия и текучесть мелкозернистых грунтов. — В кн.: Проблемы инженерной геологии. М.: Изд-во иностр. лит., 1958, вып. 1, с. 73—98.
- Алиев А. К.* Геология и нефтегазонасыщенность Кара-Араксинской области. Баку: Азнефтеиздат, 1960. 363 с.
- Алиев Ф. С.* К вопросу о диагенезе глинистых пород Бакинского архипелага. — Докл. АН СССР, 1959, т. 127, № 6, с. 1263—1264.
- Аносова Л. А.* Изменение состава и деформационного поведения глин при оползневых процессах. М.: Наука, 1966. 78 с.
- Аносова Л. А., Коробанова И. Г., Копылова А. К.* Закономерности формирования свойств оползневых отложений. М.: Наука, 1976. 183 с.
- Арицуншикина Е. В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1961. 491 с.
- Бондарик Г. К., Царева А. М., Пономарев В. В.* Исследование текстур глинистых пород при изучении оползневых процессов. — В кн.: Инженерно-геологические свойства глинистых пород и процессы в них. М.: Изд-во МГУ, 1973, вып. 3, с. 46—57.
- Бьеррум Л.* Устойчивость природных склонов в текучих глинах. — В кн.: Проблемы инженерной геологии. М.: Изд-во Иностран. лит., 1958, вып. 1, с. 98—124.
- Вассоевич Н. Б.* Опыт построения типовой кривой гравитационного уплотнения глинистых осадков. — Новости нефтяной и газовой техники. Сер. геол., 1960, вып. 4, с. 11—15.
- Вассоевич Н. Б.* Еще о терминах для обозначения стадий и этапов литогенеза. — Тр. ВНИГРИ, 1962, вып. 190, с. 220—243.
- Выветривание и литогенез* / В. П. Казаринов, В. И. Бгатов, Т. И. Гурова и др. М.: Недра, 1969. 456 с.
- Голодковская Г. А.* Изучение геологических формаций при региональных инженерно-геологических исследованиях. — Сов. геология, 1964, № 8, с. 149—156.
- Горькова И. М.* Исследование глинистых пород при помощи конического пластомера. — Коллоид. журн., 1956а, т. 18, вып. 1, с. 26—30.
- Горькова И. М.* Природа легкоподвижности песчано-коллоидных пород (истинных пльвунов). — В кн.: Труды Совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения. М., 1956б, т. 1, с. 98—112.
- Горькова И. М.* Структурообразование в морских осадках. — Докл. АН СССР, 1958, т. 123, № 2, с. 343—345.
- Горькова И. М.* Структурные и деформационные особенности осадочных пород различной степени уплотнения и литификации. М.: Наука, 1965. 128 с.
- Горькова И. М.* Гранулометрическая классификация дисперсных осадочных пород. — Тр. ПНИИИС, 1970, т. 4, с. 6—83.
- Грим Р. Е.* Минералогия глин. М.: Изд-во иностр. лит., 1956. 453 с.
- Денисов Н. Я.* Природа прочности и деформаций грунтов: Избр. тр. М.: Стройиздат, 1972. 276 с.
- Деплес Э. К.* Кремнезем как фактор диагенеза (и катагенеза). — В кн.: Диагенез и катагенез осадочных образований. М.: Мир, 1971, с. 291—306.
- Джавахишвили Э. А.* Выветривание майкопских глинистых пород как фактор в развитии оползней. — В кн.: Проблемы инженерной геологии: Труды межведомственного совещания по инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1970, с. 258—267.
- Дроздов С. В.* К методике позонного изучения остаточной коры выветривания в инженерно-геологических целях. — В кн.: Труды совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения. М., 1957, т. II, с. 283—286.
- Емельянова Е. П.* Опыт оценки прочности пород оползневых склонов методом одноосного сжатия. — В кн.: Труды совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения. М., 1956, т. I, с. 273—282.

Затенацкая Н. П. Экспериментальные данные по диффузии солей в глинистых породах. — В кн.: Постседиментационные изменения четвертичных и плиоценовых глинистых отложений Бакинского архипелага. М.: Наука, 1965, с. 143—160 (Тр./ГИН АН СССР; Вып. 115).

Затенацкая Н. П. Поровые воды осадочных пород (их значение при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях). М.: Наука, 1974. 157 с.

Зиангиров Р. С. Природа сжимаемости глинистых грунтов: Автореф. дис. ... докт. геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 1974. 36 с.

Злочевская Р. И. Связанная вода в глинистых грунтах. М.: Изд-во МГУ, 1969. 176 с.

Золотарев Г. С. Основные проблемы инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания. — В кн.: Вопросы инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания. М.: Изд-во МГУ, 1971, с. 4—26.

Инженерная геология СССР. Западная Сибирь. М.: Изд-во МГУ, 1976. Т. 2. 495 с.

Карпова Г. В. Особенности глинистых пород таврического флиша Крыма. — Докл. АН СССР, 1960, т. 185, № 3, с. 709—712.

Карпова Г. В. Глинистые минералы и постседиментационные изменения каменноугольных терригенных отложений Большого Донбасса: Автореф. дис. ... докт. геол.-минерал. наук. М.: ГИН АН СССР, 1967. 53 с.

Клубова Т. Т. Глинистые минералы и их роль в генезисе, миграции и аккумуляции нефти. М.: Недра, 1973. 38 с.

Коломенский Н. В. Методические указания по изучению процессов выветривания горных пород для инженерно-геологических целей. М.: Госгеолиздат, 1952. 67 с.

Копелиович А. В. Эпигенез древних толщ юго-запада Русской платформы. М.: Наука, 1965. 312 с.

Коробанова И. Г. Инженерно-геологические свойства юрских глин некоторых районов КМА в связи с условиями их формирования и залегания. — В кн.: Труды совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения. М., 1956, т. 1, с. 207—213.

Коробанова И. Г. Закономерности формирования физико-механических свойств терригенных глинистых отложений. — В кн.: Вопросы инженерной геологии: Доклады советских ученых к Междуна-

родному конгрессу Международной ассоциации инженеров-геологов. М. ВИНТИ, 1970а, с. 19—32.

Коробанова И. Г. Формирование инженерно-геологических свойств терригенной формации (на примере мезозоя Русской платформы). М.: Наука, 1970б. 114 с.

Коробанова И. Г., Затенацкая Н. П. О роли аморфного кремнезема в формировании инженерно-геологических свойств глинистых пород и процессы в них: Труды Международного симпозиума. М.: Изд-во МГУ, 1972, вып. 1, с. 26—36.

Коссовская А. Г. О специфике эпигенетических изменений терригенных пород в условиях платформенной и геосинклинальной областей. — Докл. АН СССР. Новая сер., 1960, т. 130, вып. 1, с. 176—179.

Коссовская А. Г., Логвиненко Н. В., Шутов В. Д. О стадиях формирования и изменения терригенных пород. — Докл. АН СССР, 1957, т. 116, вып. 2, с. 293—296.

Котлов Ф. В. Некоторые вопросы формирования инженерно-геологических свойств пород в связи с изучением глинистых пород Москвы и Подмосквья. — В кн.: Инженерно-геологические свойства горных пород и методы их изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 133—150.

Котф Г. Л. Анализ формирования инженерно-геологических свойств голоценовых морских глинистых пород в процессе их литогенеза: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 1973. 28 с.

Кощечкин Б. И. К вопросу о генезисе литифицированных отложений дна Северного Каспия. — Докл. АН СССР, 1955, т. 101, вып. 6, с. 1099—1100.

Кривошеева З. А. Использование показателей физико-механических свойств глинистых пород для уточнения подзона катагенеза. — В кн.: Использование показателей физико-механических свойств горных пород для решения общих геологических задач: Шестое региональное совещание по инженерной геологии в Ленинграде. Л., 1972, с. 40—42.

Кригер Н. И. Континентальный литогенез как элемент физико-географического процесса. — Докл. АН СССР, 1970, т. 191, вып. 6, с. 1374—1377.

Кригер Н. И. О причине высокой плотности моренных отложений. — Литология и полез. ископаемые, 1971, № 4, с. 124—130.

Курин П. Н., Поляков А. С., Щербаков Ф. А. Некоторые инженерно-геологические свойства различных литологиче-

ских типов современных морских отложений. — Вестн. МГУ. Сер. 4, Геология, 1972, № 1, с. 54—59.

Ларсен Г., Чиллинггар Дж. Введение. — В кн.: Диагенез и катагенез осадочных образований. М.: Мир, 1971, с. 9—26.

Ловвиненко Н. В. Постдиагенетические изменения осадочных пород. Л.: Наука, 1968. 92 с.

Ломтадзе В. Д. Изменение влажности глины при уплотнении их большими нагрузками: Зап. ЛГИ, 1953, т. 29, вып. 2, с. 103—123.

Ломтадзе В. Д. О формировании свойств глинистых пород. — Зап. ЛГИ, 1956, т. 32, вып. 2, с. 41—87.

Ломтадзе В. Д. Физико-механические свойства нижнекембрийских глин северо-западной окраины Русской платформы — Зап. ЛГИ. Сер. гидрогеол. и инженер. геол., 1958, т. 34, вып. 2, с. 154—188.

Луца А. А. Об обжатии древних грунтовых толщ Каспийской низменности. — Докл. АН СССР, 1953, т. 90, № 6, с. 1135—1137.

Луца А. А. Влияние ледниковых нагрузок на обжатие некоторых грунтовых толщ Прибалтики. — Докл. АН СССР, 1954, т. 99, № 2, с. 311—314.

Луцицкий И. В., Громин В. И., Ушаков Г. Д. Эксперименты по деформации горных пород в обстановке высоких давлений и температур. Новосибирск: Наука, 1967. 76 с.

Методика определения характеристик ползучести, длительной прочности и сжимаемости мерзлых грунтов / С. С. Вялов, С. Э. Городецкий, В. Ф. Ермаков и др. М.: Наука, 1966. 129 с.

Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. М.: Изд-во МГУ, 1968. Т. 1. 365 с.

Монюшко А. М. О постседиментационных изменениях морских глинистых отложений района Бакинского архипелага. — Докл. АН СССР, 1962, т. 145, № 5, с. 1118—1120.

Муратов М. В. Геологическое прошлое Крыма и Черного моря. — Природа, 1960, № 6, с. 57—64.

Муратов М. В., Минуков М. Ф., Чернова Е. С. Основные этапы тектонического развития Русской платформы. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1962, № 11, с. 3—35.

Мухин Ю. В. Процессы уплотнения глинистых осадков (применительно к вопросам геологии нефти и газа, гидрогеологии и инженерной геологии). М.: Недра, 1965. 200 с.

Мушенко А. И. Тектоника осадочного покрова Воронежской антеклизы. — М.: Изд-во АН СССР, с. 61—63 (Тр./ГИН АН СССР; Вып. 38).

Мюллер Г. Диагенез (и катагенез) глинистых осадков. — В кн.: Диагенез и катагенез осадочных образований. М.: Мир, 1971, с. 122—164.

Николаев С. В. Устойчивость отколов карьеров в скальных породах. — В кн.: Вопросы инженерной геологии: Доклады советских ученых к Международному конгрессу Международной ассоциации инженеров-геологов. М.: Изд-во ВИНТИ, 1970, с. 274—282.

Образование осадков в современных водоемах / Н. М. Страхов, Н. Г. Бродская, Л. М. Князева и др. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 791 с.

Окнина Н. А., Приклонский В. А. Диффузионные процессы в глинах и их значение в гидрогеологии и инженерной геологии. — В кн.: Проблемы гидрогеологии. М.: Госгеолтехиздат, 1960, с. 330—334.

Осипов В. И. Природа прочности и деформационных свойств глинистых пород. М.: Изд-во МГУ, 1979. 235 с.

Парабучев И. А. Гипергенный литогенез и вопросы инженерной геологии. — В кн.: Вопросы инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания. М.: Изд-во МГУ, 1971, с. 70—84.

Пашалы Н. В. Гранулометрические типы и вещественный состав четвертичных отложений. — В кн.: Постседиментационные изменения четвертичных и плиоценовых глинистых отложений Бакинского архипелага. М.: Наука, 1965, с. 68—88 (Тр./ГИН АН СССР; Вып. 115).

Ползков А. С. Формирование инженерно-геологических свойств донных отложений Черного и Каспийского морей: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 1973. 24 с.

Попов И. В. Теоретические основы инженерно-геологической классификации пород. — В кн.: Доклад на совещании по вопросам инженерно-геологического изучения горных пород. — Тр. ЛГПИ АН СССР, 1956, ч. 14, с. 197—215.

Преображенская В. Н. Материал к стратиграфическому расчленению юрских отложений Курской магнитной аномалии. — В кн.: Труды научной конференции по стратиграфии мезозоя и палеогена Нижнего Поволжья и смежных областей. Вольск; Саратов: Изд-во СГУ, 1958, с. 179—193.

Приклонский В. А. Инженерно-геологическое изучение регионально-генетических типов глинистых пород СССР в лаборатории гидрогеологических проблем

им. Ф. П. Саваренского АН СССР. — В кн.: Труды совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения. М., 1956, т. I, с. 73—87.

Приклонский В. А. Современные проблемы инженерной геологии. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1957, № 12, с. 89—96.

Прозорович Э. А. Уплотнение глинистых пород майкопской свиты с увеличением глубины их залегания в некоторых областях Кавказа. — В кн.: Сборник научно-технической информации АзНИИ по добыче нефти, 1961, вып. 3, с. 57—61.

Путкардазе А. Л. Краткий геологический очерк Бакинского архипелага. — В кн.: Постседиментационные изменения четвертичных и плиоценовых глинистых отложений Бакинского архипелага. М.: Наука, 1965, с. 9—29 (Тр. / ГИН АН СССР; Вып. 115).

Пушкина З. В. Поровые воды глинистых пород и изменения по разрезу. — В кн.: Постседиментационные изменения четвертичных и плиоценовых глинистых отложений Бакинского архипелага. М.: Наука, 1965, с. 160—204 (Тр. / ГИН АН СССР; Вып. 115).

Рабаев Г. С. Компрессионная сжимаемость дисперсных грунтов и факторы, ее определяющие: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 1969. 18 с.

Ратеев М. А. Закономерности размещения и генезис глинистых минералов в современных и древних морских бассейнах. М.: Наука, 1964. 287 с. (Тр. / ГИН АН СССР; Вып. 112).

Ратеев М. А., Покидин А. К., Хейров М. Б. Глинистые минералы, их распределение и генезис в сводном разрезе Аляты-море. — В кн.: Постседиментационные изменения четвертичных и плиоценовых глинистых отложений Бакинского архипелага. М.: Наука, 1965, с. 89—115 (Тр. / ГИН АН СССР; Вып. 115).

Славянов В. Н. Инженерно-геологические прогнозы устойчивости откосов. М.: Госстройиздат, 1964. 155 с.

Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 210 с.

Страхов Н. М. Типы литогенеза и их эволюция в истории земли. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 536 с.

Страхов Н. М., Залманзон Э. С. Распределение аутигенно-минералогических форм железа в осадочных породах и его значение для литологии (к теории диагенеза). — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1955, № 1, с. 34—51.

Страхов Н. М., Логвиненко Н. В. О стадиях осадочного породообразования и их

наименовании. — Докл. АН СССР, 1959, т. 125, № 2, с. 389—392.

Татарский В. Б. Раздоломичивание и связанные с ними вопросы. — Вестн. ЛГУ. Сер. биол., геогр. и геол., 1953, вып. 1, с. 149—158.

Тимофеева З. В. Основные черты аутигенного минералообразования четвертичных и плиоценовых отложений. — В кн.: Постседиментационные изменения четвертичных и плиоценовых глинистых отложений Бакинского архипелага. М.: Наука, 1965, с. 214—240 (Тр. / ГИН АН СССР; Вып. 115).

Трофимов В. Т. Закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты. М.: Изд-во МГУ, 1977. 279 с.

Тулинов Р. Г. Методы изучения физико-механических свойств элювиальных грунтов. — В кн.: Вопросы инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания. М.: Изд-во МГУ, 1971, с. 282—298.

Уэллер Дж. М. Уплотнение осадков. — В кн.: Проблемы нефтяной геологии в освещении зарубежных ученых / Под общ. ред. Н. Б. Вассоевича. Л.: Госоптехиздат, 1961, с. 84—137.

Чаповский Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. 4-е изд., испр. и доп. М.: Недра, 1975. 303 с.

Чепик В. Ф. Методика определения давления набухания глинистых пород при взаимодействии их с водой. — В кн.: Оползни и борьба с ними. Ставрополь: Кн. изд-во, 1964, с. 403—411.

Шанцер Е. В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. М.: Наука, 1966. 239 с. (Тр. / ГИН АН СССР; Вып. 161).

Шеко А. И. Методика определения показателей инженерно-геологических свойств щебнисто-глинистых пород (на примере пород Южного берега Крыма). — В кн.: Труды совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения. М.: 1956, т. I, с. 259—273.

Шутов В. Д. Зоны эпигенеза в терригенных отложениях платформенного чехла (на примере изучения рифейских и палеозойских отложений юго-восточной части Русской платформы). — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1962, № 3, с. 30—44.

Энгельгардт В. Поровое пространство осадочных пород. М.: Недра, 1964. 232 с.

Энгельгардт В. Поровые водные растворы и катагенез пород. — В кн.: Диагенез и катагенез осадочных образований. М.: Мир, 1971, с. 443—458.

Casagrande A. The determination of the preconsolidation load and its practical significance. — Proc. First Int. Conf. on soil Mech. and Found. Eng., 1953, vol. 1, p. 6—64.

Chilingar G. V., Knight L. Relationship between pressure and moisture content of kaolinite, illite, and montmorillonite clays. — Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 1960, vol. 44, p. 101—106.

Emery K. O., Rittenberg S. C. Early diagenesis of California dasin sediments in relation to origin of oil. — Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 1952, vol. 36, N 5, p. 735—806.

Gardnermeister R. On the engineering-geological properties of finegrained sediments in southern Finland. — First Int. Congr. of the Int. Assoc. of Eng. Geol., Paris, 1975, N 1, p. 465—473.

Hamilton E. L. Thickness and consolidation of deep-sea sediments. — Bull. Geol. Soc. Amer., 1959, vol. 70, p. 1399—1424.

Kulbicki G., Millot G. Diagenesis of clay in Sedimentary and Petrol Series. — Glays and Clay Miner., 10th Nat. Conf., 1961, p. 329—330.

Meade R. H. Factors influencing the pore volume of finegrained sediments under low-to-moderate overburden loads. — Wood Hole, U. S. Geol. Surv. Woods Hole Oceanogr. Inst., 1962, vol. 2, p. 235—242.

Meade R. H. Relation of the pore volume of silty sediments overburden load, particle size, and sorting. — U. S. Geol. Surv. Proff. Paper, 1963, vol. 450-E, p. 111—114.

Meade R. H. Removal of water and rearrangement of particles during the compaction of clayey sediments — review. — U. S. Geol. Surv. Proff. Paper, 1964, vol. 497-B, p. 1—23.

Meade R. H. Factors Influencing the early stages of the compaction of clays and sands — review. — J. Sediment. Petrol., 1966, vol. 36, N 4, p. 107—1101.

Meade R. H. Compaction of Sediments underlying Areas of land Subsidence in central California, United states government printing office. Wash., 1968. 39 p.

Rosenqvist I. Consideration of the Sensitivity of Norwegian Quick-clays. — Geotechnique, 1953, vol. 111, p. 75—77.

Shepard F. P., Moore D. G. Central Texas coars sedimentation, characteristics of sedimentary environment, recent history and diagenesis. — Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 1955, vol. 39, N 8, p. 1463—1593.

Skempton A. W. Soil Mechanics in relation to Geology. — Proc. Yorkshire Geol. Soc., 1953, vol. 29, p. 33—62.

Skempton A. W. First-time slides in overconsolidated clays. — Geotechnique, 1970, vol. XX, N 3, p. 143—147.

Towl K. M. Clay Mineral diagenesis as a Possible source of silica cement in sedimentary rocks. — J. sed. Petrol., 1962, vol. 32, N 1, p. 26—28.

Van Olphen H. Compaction of clay sediments in the range of molecular particle distance. — Clays and Clay Miner., 1963, vol. 11, p. 178—187.

Weaver Ch. E. A discussion on the origin of clay minerals in sedimentary rocks. — Nat. Res. Council. Publs, 1958, N 566, p. 159—173.

Weller J. M. Compaction of sediments. — Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 1959, vol. 43, N 2, p. 273—310.

Züdling H. Sedimente als Ausdruck des Zustandes eines Gewässers, Schweiz. — Z. Hydrol., 1956, vol. 18, p. 5—143.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Часть I	
ИЗУЧЕННОСТЬ ВОПРОСА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
Глава 1. Литературный обзор	4
Глава 2. Методика исследования	7
Часть II	
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТАДИЙ ЛИТОГЕНЕЗА	
Глава 1. Ранние постседиментационные изменения глинистых отложений терригенной геосинклинальной аридной формации (на примере четвертичных и плиоценовых отложений Каспийского бассейна в районе Бакинского архипелага)	13
Основные черты геологического строения и история развития района	13
Вещественный состав четвертичных и плиоценовых отложений района и его постседиментационные изменения	14
Физико-механические свойства четвертичных и плиоценовых отложений и их постседиментационные изменения, стадии и зоны уплотнения и литификации пород	18
Глава 2. Постдиагенетические изменения пород терригенной платформенной формации гумидных равнин (на примере отложений мезозоя Русской платформы в районе Курской магнитной аномалии)	25
Основные черты геологического строения и история развития района	25
Инженерно-геологические особенности отложений открытого моря глубоководной зоны шельфа	36
Инженерно-геологические особенности отложений открытого моря мелководной зоны шельфа	44
Инженерно-геологические особенности прибрежно-морских отложений	47
Инженерно-геологические особенности озерно-болотных отложений	49
Закономерности формирования инженерно-геологических свойств пород терригенной мезозойской формации района	52
Глава 3. Позднекатагенетические преобразования пород терригенной флишевой формации и их изменения в фазу регрессивного литогенеза и в процессах осадочной континентальной склоновой аккумуляции (на примере пород таврического флиша Южного берега Крыма)	59
Основные черты геологического строения и история развития района	59
Тектурно-структурные особенности и вещественный состав пород таврического флиша, элювиальных, делювиальных и оползневых накоплений	61

Физико-механические свойства пород таврического флиша, элювиальных, делювиальных и оползневых накоплений	66
Закономерности формирования инженерно-геологических свойств пород таврического флиша, элювиальных, делювиальных и оползневых накоплений	73

Часть III

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕРРИГЕННЫХ ОСАДОЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Глава 1. Критерий выделения стадий и этапов литогенеза, инженерно-геологическая типизация пород	76
Глава 2. Схема формирования инженерно-геологических свойств терригенных осадочных образований	82
Выводы	99
Литература	106

Ирина Григорьевна Коробанова
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ
ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Утверждено к печати

*Производственным и научно-исследовательским институтом
по инженерным изысканиям Госстроя СССР*

Редактор *Ю.В. Ерофеев*. Редактор издательства *А.М. Гладкова*
Художник *А.В. Лисицын*. Художественный редактор *С.А. Литвак*
Технический редактор *Н.М. Бурова*. Корректоры *И.Г. Мартыанова, Н.И. Харламова*

ИБ № 27377

Подписано к печати 26.05.83. Т — 07662. Формат 60x90 1/16. Бумага офсетная № 1
Гарнитура литературная (фотонабор). Печать офсетная. Усл.печ.л. 7,0 + 0,1 вкл.
Усл.кр.-отт. 7,4. Уч.-изд.л. 9,1. Тираж 800 экз. Тип.зак. 32. Цена 1 р. 40 к.

Издательство "Наука", 117864 ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., д. 90
Ордена Трудового Красного Знамени 1-я типография издательства "Наука"
199034, Ленинград, В-34, 9-я линия, 12

1р. 40 к.

3980