

А. В. САДОВ
А. Л. РЕВЗОН

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ
МЕТОДЫ
В ГИДРОГЕОЛОГИИ
И ИНЖЕНЕРНОЙ
ГЕОЛОГИИ

А. В. САДОВ,
А. Л. РЕВЗОН

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ



МОСКВА, НЕДРА, 1979



Садов А. В., Ревзон А. Л. Аэрокосмические методы в гидрогеологии и инженерной геологии. М., Недра, 1979. 223 с.

Книга посвящена новому перспективному направлению гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, связанному с использованием космических средств для изучения природных ресурсов Земли. Работа открывается проблемным разделом, определяющим роль космических методов при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. В ней рассмотрены современное состояние и теоретико-методические основы использования аэрокосмических методов, а также результаты экспериментальных работ по их применению при решении конкретных задач: гидрогеологического и инженерно-геологического картирования и районирования, изучения условий формирования поверхностного и подземного стока, процессов влагообмена в зоне аэрации, оценке обводненности разломов и изучении экзогенных геологических процессов. Дается оценка информативности материалов разномасштабных аэрокосмофото- и телевизионных съемок в зависимости от решаемых вопросов и детальности работ. Изложенный в книге материал основан на исследованиях, проведенных авторами на космогеологических полигонах и в районах перспективного хозяйственного освоения.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов: геологов, гидрогеологов, инженеров-геологов и специалистов смежных профессий наук о Земле. Она также может быть использована как вспомогательное пособие для студентов вузов по специальности «гидрогеология и инженерная геология».

Табл. 12, ил. 35, список лит.— 196 назв.

Появление работы «Аэрокосмические методы в гидрогеологии и инженерной геологии» обусловлено научно-техническим прогрессом в космических исследованиях по изучению природных ресурсов, осуществляемых в рамках международного сотрудничества в космосе. Оно свидетельствует о расширении и углублении возможностей использования космических средств для изучения окружающей среды. На первых этапах это сотрудничество проводилось главным образом по изучению и картографированию природных объектов, которые непосредственно отображаются на космоснимках (горные породы, рельеф, растительный покров, поверхностные воды, атмосферные явления).

В настоящее время можно говорить о возможностях дистанционного изучения ряда природных объектов, которые не находят прямого отображения на космоснимках, но могут быть изучены косвенным путем, на основе дистанционного анализа природных компонентов. Это подтверждает работа А. В. Садова и А. Л. Ревзона, посвященная рассмотрению возможностей аэрокосмических методов изучения подземных вод, закономерностей их формирования и регионального распространения, а также природных процессов и инженерно-геологических условий, оказывающих существенное влияние на строительство и эксплуатацию инженерных сооружений.

Задача авторов была существенно облегчена публикацией монографий Б. В. Виноградова и Ал. А. Григорьева, в которых обосновано новое направление исследований — космическое земледование, а также работы Я. Г. Каца, А. Г. Рябухина, Д. М. Трофимова и коллективной монографии под редакцией Г. Д. Гонина и С. И. Стрельникова, — определивших развитие космической геологии.

Настоящая работа может быть отнесена к новому направлению по дистанционному изучению природных ресурсов Земли — космической гидрогеологии и инженерной геологии, которое зародилось на стыке космического земледования и космической геологии.

Изучение природных явлений из космического пространства с помощью спутников, межпланетных автоматических станций и пилотируемых кораблей связано с естественным развитием аэрометодов и в первую очередь аэрофото-, телевизионной и многоспектральной съемок. Значительное удаление космических носителей от Земли по сравнению с обычными летными средствами вносит ряд существенных изменений в характер получаемой информации, обусловленных широким обзором и естественной ге-

нерализацией изображения, что обеспечивает выявление новых, ранее неизвестных закономерностей, важных для гидрогеологии и инженерной геологии. Однако применение космической съемки не исключает использование обычной аэрофотосъемки, а предусматривает их комплексирование. В связи с тем, что вопросы дешифрирования материалов аэрофотосъемки достаточно хорошо известны и полно освещены в литературе, в настоящей работе представлены преимущественно космические методы исследований в гидрогеологии и инженерной геологии, а обычным аэрометодам уделено относительно небольшое внимание, и информация, получаемая с их помощью, рассматривается как дополнительная к основной космической информации.

Существенным достоинством книги является ее методическая направленность и практическая значимость для региональных гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, картирования в районах перспективного хозяйственного освоения, поисков подземных вод и рационального использования геологической среды.

Работу следует рассматривать как одно из первых научных обобщений в области космической гидрогеологии и инженерной геологии, определившее перспективы дальнейшего развития этого направления.

Заслуженный деятель науки РСФСР,
доктор технических наук,
профессор Н. А. ПЛОТНИКОВ

В основных направлениях развития народного хозяйства СССР на десятую пятилетку, принятых XXV съездом КПСС, большое внимание уделяется увеличению темпов развития народного хозяйства на основе повышения эффективности и качества геологоразведочных работ, а также отмечается необходимость расширения изучения природных ресурсов Земли с помощью космических средств.

Крупные народнохозяйственные проблемы по преобразованию окружающей среды, связанные с переброской рек, мелиорацией земель, освоением новых районов Сибири и Дальнего Востока в зоне БАМ и др., вызывают необходимость проведения региональных гидрогеологических и инженерно-геологических исследований на территориях перспективного освоения с прогнозной оценкой изменений природной обстановки в результате инженерной деятельности человека.

Использование при этом материалов космических съемок позволяет существенно повысить информативность и качество региональных гидрогеологических и инженерно-геологических работ. Однако внедрение аэрокосмических методов в практику гидрогеологических и инженерно-геологических исследований сдерживается в связи с отсутствием методических разработок в этом направлении.

Исследования авторов в этой области выявили широкие перспективы применения материалов космофотосъемки при региональных исследованиях, в особенности при осуществлении гидрогеологического и инженерно-геологического картирования. Информация, получаемая с помощью космофотоснимков, позволяет по-новому подойти к изучению региональных гидрогеологических и инженерно-геологических закономерностей больших территорий. В частности, стало возможным осуществить оценку гидрогеологической и инженерно-геологической роли структурно-тектонических элементов земной коры, что в ряде случаев изменяет и уточняет современные представления о динамике подземных вод и экзогенных процессов. Это позволяет более целенаправленно осуществлять поиски и охрану подземных вод и разработку инженерно-геологических прогнозов.

Книга отражает современные достижения в области аэрокосмической индикации гидрогеологических и инженерно-геологических условий и представляет собой научно-методическую разработку в новом направлении региональных гидрогеологических и инженерно-геологических исследований.

В основу монографии положены материалы многолетних гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, проведенных при участии и под руководством авторов на космогеологических полигонах и в районах перспективного хозяйственного освоения.

В работе обобщен существующий отечественный и зарубежный опыт аэрокосмических исследований в геологии, гидрогеологии, инженерной геологии и смежных наук о Земле.

В ряде монографических изданий, посвященных вопросам дистанционного изучения природных ресурсов Земли, детально рассматриваются технические характеристики космических летательных средств, аппаратуры, видов, условий проведения и материалов съемок [10, 23, 76, 142]. В связи с этим в настоящей работе эти вопросы не затрагиваются, а основное внимание уделяется методическим основам гидрогеологической и инженерно-геологической интерпретации материалов аэро- и космофото-съемки различных уровней генерализации, а также результатам их практической реализации преимущественно на примере Устьюртского космогеологического полигона.

Представительность Устьюрта как экспериментального базового полигона, выбранного для решения этих задач, обусловлена научными и практическими соображениями.

Во-первых, выбранный район многообразен по ландшафтным условиям. Во-вторых, эта территория в настоящее время рассматривается в качестве одного из вариантов переброски сибирских рек в бассейн Арала. В-третьих, что немаловажно, данный район находится в пределах Устьюртского космогеологического полигона, на котором периодически производятся съемки с пилотируемых космических кораблей, искусственных спутников Земли и орбитальных научных станций. Помимо Устьюрта, разработанная методика опробована при работах в горных районах Кавказа, пустынных районах Казахстана и Туркмении, а также на одном из участков Восточной Сибири.

Авторы глубоко признательны С. В. Викторову, М. И. Бурлешину, Н. М. Крапильской, Н. С. Семиной за большую помощь в подготовке данной работы и любезное предоставление личных материалов, которые использованы в книге.

Для удобства пользования в тексте произведены сокращения широко употребляемых специальных понятий (терминов), список которых приводится ниже:

АМС — автоматическая межпланетная станция

АФС — аэрофотоснимки

ИК-съемка — инфракрасная съемка

ИСЗ — искусственный спутник Земли

КФС — космофотоснимки

МС — многоспектральная съемка

МСС — многоспектральная сканирующая система
ОНС — орбитальная научная станция
ПКК — пилотируемый космический корабль
ТВ-съемка — телевизионная съемка
РЛ-съемка — радиолокационная съемка
РТ-съемка — радиотепловая съемка

Часть I

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗЕМЛИ

Глава I

РОЛЬ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

ПРЕДПОСЫЛКИ ВНЕДРЕНИЯ КОСМОФОТОСЪЕМКИ В ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Научно-технический прогресс, связанный с бурным развитием космонавтики и космических методов исследований, открыл новую эру в развитии наук о Земле [138, 139].

В настоящее время материалы съемок из космоса используются для изучения природных ресурсов Земли по нескольким направлениям, определенным соглашением между Академией наук СССР и Национальным управлением США по авиации и исследованию космического пространства (НАСА), принятым в 1971 г. в Москве (геология и геоморфология; растительность, почвы и использование земель; вода, снег и гляциология; микроволновая техника и атмосферные эффекты при дистанционном зондировании; океанология) [61, 62, 63].

В геологии аэрокосмические методы начали внедряться прежде всего в тех ее отраслях, которые базируются на региональных исследованиях и в первую очередь в геологическом картировании, тектонике, геоморфологии. Благодаря высокой степени оптической генерализации и большой обзорности, космические снимки обладают целым рядом преимуществ по сравнению с обычными аэроснимками.

Использование материалов космических съемок позволяет установить ряд новых категорий геологических образований, не выявляемых с помощью других методов. Это относится прежде всего к изучению крупных структурных элементов земной коры регионального порядка и формаций горных пород. Важной отличительной особенностью КФС является хорошо выраженный

«эффект просвечивания», обуславливающий выявление скрытых под толщей рыхлых отложений структур до глубины 200—300 м, что повышает глубинность исследований по сравнению с данными, получаемыми при дешифрировании обычных аэрофотоснимков [141].

Общезвестны также преимущества КФС и при изучении мега- и макрорельефа, морфоструктуры и морфоскульптуры крупных регионов. Вместе с тем в этих снимках содержится также информация о зональных, высотно-поясных и секторальных особенностях строения ландшафтов Земли.

Все эти преимущества КФС, а также накопившийся за последние годы опыт их применения при решении различных геологических задач создали предпосылки для внедрения космических методов в гидрогеологии и инженерной геологии.

Значение гидрогеологии и инженерной геологии в системе геологических наук достаточно велико. Объектом изучения гидрогеологии является один из важнейших компонентов геологической среды — подземные воды, которые отличаются высокой динамичностью во времени и в пространстве и не только постоянно эволюционируют сами, но служат звеном, через которое осуществляется взаимодействие других компонентов.

Несколько иное положение занимает инженерная геология. Объектом ее изучения является не единый обособленный компонент среды, а целый ряд их, рассматриваемый с некоторой общей единой точки зрения, т. е. как инженерно-геологические условия. Таким образом, можно утверждать, что если в гидрогеологии сохраняется в первую очередь единство объекта изучения, то в инженерной геологии единство подхода к целой системе объектов.

Для того чтобы правильно оценить перспективы применения аэро- и космических методов на современном этапе их развития для решения гидрогеологических и инженерно-геологических проблем, следует проанализировать некоторые особенности двух упомянутых наук — гидрогеологии и инженерной геологии. Для этого необходимо остановиться на отдельных наиболее общих чертах окружающей нас природной среды.

В процессе разработки теории ландшафтной индикации С. В. Викторовым [17] было предложено рассмотрение природно-территориального комплекса как многоярусной системы. Внешний, непосредственно наблюдаемый нами ярус ее С. В. Викторов именует эктоярусом. Становясь на эту точку зрения, можно выделить в природной среде по крайней мере три яруса: эктоярус (объединяющий рельеф, почвенно-растительный покров, открытую поверхность вод и поверхностные сооружения, созданные человеком), мезоярус (кора выветривания в пределах зоны аэрации), эндоярус (породы, лежащие ниже уровня грунтовых вод).

Рассматривая положение различных видов подземных вод в этой структурной схеме, легко заметить, что грунтовые воды лежат в мезоярuse, а артезианские — в эндоярuse. Таким образом, основной объект исследования гидрогеологов — подземные воды, почти полностью скрытый от непосредственного наблюдения, практически не входит в эктоярус природно-территориальных комплексов. Согласно термину, предложенному С. В. Викторовым, этот компонент природно-территориального комплекса является чаще всего деципиентным, т. е. невидимым. Поэтому гидрогеологическое дешифрирование — это дешифрирование индикационное, где мы обнаруживаем индикат (подземные воды) по тем или иным индикаторам — по связи их с определенными тектоническими условиями, выражаемыми рельефом местности, по специфическим растительным сообществам или по тем или иным формам использования подземных вод человеком (системы кяризов, колодцы и т. д.). Об этом свидетельствуют многочисленные гидроиндикационные работы [1, 5, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 32, 33, 34, 35, 94, 97, 125].

Индикационная направленность гидрогеологического дешифрирования стала ощущаться с первых же шагов его возникновения. Исторически она проявилась первоначально в дешифрировании одной из самых простых и наглядных связей внешнего облика местности с гидрогеологическими условиями, а именно: связи влаголюбивой растительности и грунтовых вод. На этом этапе она задержалась на долгое время.

В дальнейшем на базе изучения взаимосвязей между комплексом физиономических компонентов ландшафта и подземными водами успешно развивается ландшафтная гидроиндикация. При этом возникли новые возможности, связанные с изучением условий формирования подземных вод и их динамики по материалам аэрофотосъемки.

Обзорность, региональность, вскрытие закономерностей мегамасштабов — вот те требования, которые предъявляет в настоящее время гидрогеологическое дешифрирование. Мы ушли от выделения на снимках отдельных пятен влаголюбивых растений и ищем возможности познания распределения крупных региональных потоков и целых артезианских бассейнов через морфоструктуру территории. В силу этого мы считаем актуальной задачей гидрогеологического дешифрирования переход к анализу снимков из космоса и высотных снимков.

Опыт работ авторов в аридных районах [103, 113, 115, 117, 131] показывает, что здесь намечается возможность дешифрирования путей миграции наиболее крупных грунтовых потоков, в частности основных потоков, выделенных в известной схеме Н. Н. Ходжибаева [158], областей активного водообмена и относительного застоя и т. д. Все это наблюдается не непосредственно, а через ландшафтную структуру регионов и требует создания многоступенчатых интерпретационных схем.

Иное положение складывается в инженерно-геологическом дешифрировании. Здесь далеко не все дешифрирование имеет индикационный характер — многие элементы инженерно-геологической обстановки видны на фотоснимках непосредственно. Они не являются деципиентными, не входят ни в эндоярус, ни в мезоярус и целиком лежат в эктоярусе. Таковы все антропогенные сооружения — плотины, каналы, дамбы, карьеры; многие проявления экзогенных процессов, находящихся в их активных стадиях развития, — оползни, осыпи, обвалы, сели; обнажения горных пород и ряд других элементов инженерно-геологических условий.

ЗАДАЧИ ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ, РЕШАЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ МАТЕРИАЛОВ КОСМОФОТОСЪЕМКИ

При гидрогеологических исследованиях материалы космofотосъемки могут найти применение при решении следующих задач:

- изучении региональных закономерностей распространения подземных вод;
- мелко- и среднемасштабном гидрогеологическом картировании и районировании;
- изучении условий формирования поверхностного и подземного стока и оценке взаимосвязи поверхностных и подземных вод.

Использование космических методов при изучении региональных закономерностей распространения подземных вод связано с возможностями выявления по КФС зональности физико-географических факторов, распределения грунтовых вод, структурного плана регионов и его влияния на формирование подземных вод, уточнения границ артезианских бассейнов.

Это позволяет проследить зональность формирования подземных вод на фоне геоструктуры и выявить широтные пояса артезианских бассейнов [147]. Не менее интересные закономерности могут быть установлены при изучении регионального стока [158], гидродинамической структуры артезианских бассейнов [119, 120].

Выявление по КФС системы тектонических нарушений, сопровождаемых довольно крупными зонами дробления и усиленной трещиноватостью вмещающих пород, даст возможность определить направление основных потоков подземных вод в горно-складчатых сооружениях, непосредственно примыкающих к равнинно-степным ландшафтам в аридной зоне и установить участки естественной разгрузки подземных вод, регионального стока по пути их движения от горных сооружений к пустыне;

По фотоснимкам, полученным с ПҚК, могут быть определены площади пород с различными фильтрационными свойствами, площади распространения поровых, трещинных, карстовых вод и обводненных зон разломов. Таким образом, использование ҚФС позволяет проследить многие гидрогеологические региональные закономерности, которые весьма трудно, а в ряде случаев и невозможно установить с помощью других методов.

Весьма перспективно применение материалов космодосъемки при мелко- и среднemasштабном гидрогеологическом картировании и районировании. При этом основным видом работ является составление серии общегеологических, вспомогательных и специальных гидрогеологических карт.

На основе дешифрирования ҚФС кроме площадей, характеризующихся распространением определенных типов подземных вод, состава и строения водовмещающих пород могут быть установлены глубины залегания первого от поверхности водоносного горизонта, химический состав грунтовых вод и их минерализация, направление регионального подземного стока, а также области их питания, транзита и разгрузки. Особенно большую роль приобретают материалы космических съемок при гидрогеологическом районировании крупных регионов.

Использование космических методов при изучении условий формирования поверхностного и подземного стока тесно связано с возможностями всестороннего изучения ландшафтных факторов их формирования: зонально-климатических, геоморфологических, структурных, геологических и др.

Оценка условий формирования поверхностного стока производится путем анализа таких важнейших факторов, как атмосферные осадки, температурный режим, рельеф, гидрографическая сеть, характер поверхности водосборов, растительный покров, фильтрационные свойства почво-грунтов. Все эти факторы прямо или косвенно находят отображение в физиономической структуре ландшафта и могут быть закартированы с помощью материалов аэро- и космодосъемки.

На основе их дешифрирования возможны: установление границ бассейнов поверхностного стока, типизация их по условиям водного питания и характеру стока, а также выбор репрезентативных бассейнов для дальнейших детальных исследований. Последнее может проводиться путем ландшафтного анализа материалов среднemasштабной аэрофотосъемки в сочетании с наземными исследованиями.

Полученные при этом данные позволят оценить инфильтрационные особенности поверхностных образований, их шероховатость, направление постоянных и временных водотоков, характер и направленность процессов влагопереноса в зоне аэрации. Зону аэрации можно рассматривать как связующее звено между поверхностными и подземными водами. В связи с этим изучение

водообмена, солеобмена и теплообмена в зоне аэрации весьма важно для оценки взаимосвязи поверхностного и подземного стока.

Наиболее ценную информацию об условиях формирования подземного стока можно получить при оценке гидрогеологической роли структурных элементов. Системы разрывных нарушений и складчатые тектонические структуры, выделенные на КФС, позволяют дать обоснованную оценку гидрогеологических условий и уточнить гидрогеологическое районирование территорий. Это позволит установить области питания, транзита и разгрузки подземных вод, что может быть использовано для более целенаправленных их поисков.

При инженерно-геологических исследованиях материалы космофотосъемки могут найти применение при решении следующих задач:

— мелко- и среднемасштабном инженерно-геологическом картировании и районировании;

— изучении экзогенных геологических процессов.

С помощью КФС возможно получение всей информации, необходимой для составления инженерно-геологических карт. Объектами инженерно-геологического картирования являются инженерно-геологические условия, получающие на фотоснимках специфическое отражение. КФС позволяют получать данные о границах распространения инженерно-геологических формаций горных пород, их структурно-тектонической обусловленности, макро- и мезорельефе территорий. С их помощью возможно выявление площадей распространения литолого-стратиграфических комплексов покровных отложений, пород коренной основы, характера их взаимоотношений, а также пространственные закономерности в развитии экзогенных геологических процессов.

По сравнению с гидрогеологическим дешифрированием инженерно-геологическая интерпретация — более многосторонний процесс, опирающийся на комплексный учет всех природных факторов, в той или иной степени определяющих инженерно-геологическую обстановку.

Важным преимуществом КФС является возможность более глубокой оценки роли структурно-тектонических факторов в формировании инженерно-геологических условий.

Применение материалов космофотосъемки при региональных гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях существенно повысит эффективность работ, поскольку геологическая информативность космофотокарт не уступает картам, составленным с помощью традиционных методов, а материальные и временные затраты на их составление существенно сокращаются.

УРОВНИ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ КОСМОФОТОСНИМКОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Современные аэрокосмические изображения дают оперативную информацию с различной степенью детальности и генерализации. Рядом исследователей в настоящее время выделяется четыре уровня генерализации: глобальный, региональный, локальный и детальный. Для каждого уровня характерны определенные масштаб, степень разрешения на местности, объем гидрогеологической и инженерно-геологической информации. Методика дешифрирования КФС различных уровней генерализации также видоизменяется.

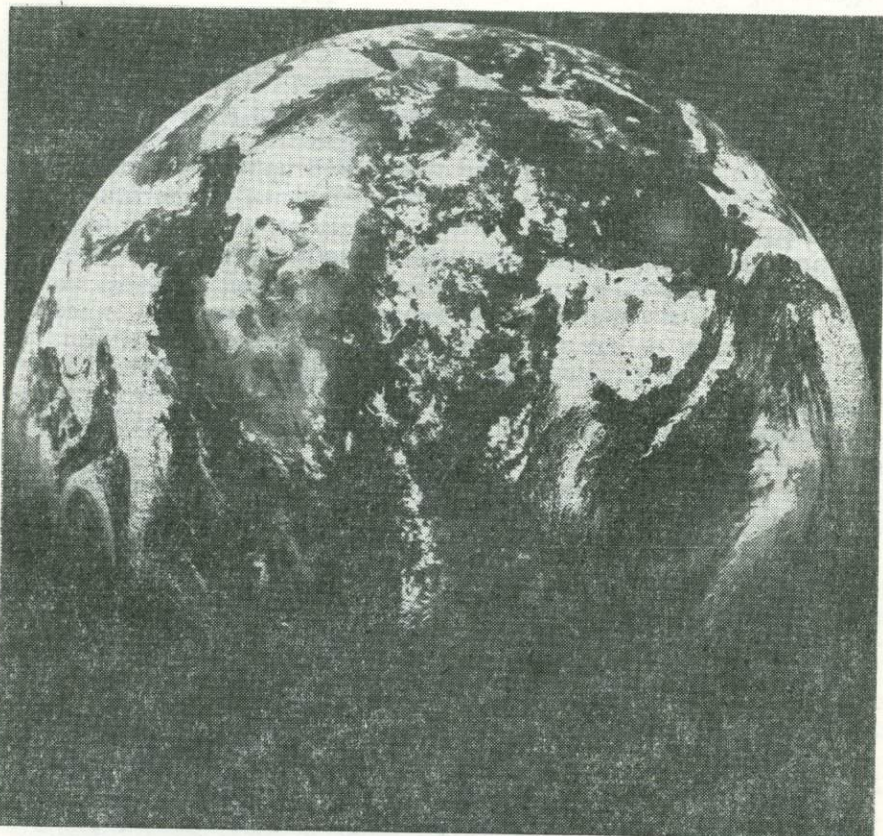


Рис. 1. Глобальный снимок Земли, полученный с советской межпланетной автоматической станции «Зонд-5» с высоты 90 тыс. км

На глобальном уровне изучаются снимки масштаба мельче $1:10\,000\,000$ (рис. 1). На таких снимках отчетливо устанавливаются крупнейшие разрывные и складчатые структуры и ландшафтные комплексы. Геологическое строение территории интерпретируется по интегральному изображению ландшафтных комплексов. Использование информации данного уровня генерализации для решения задач гидрогеологии и инженерной геологии пока проблематично. Однако для целей мелкомасштабного гидрогеологического и инженерно-геологического районирования глобальные снимки вполне применимы.

На региональном уровне анализируются снимки масштабов $1:1\,000\,000$ — $1:10\,000\,000$. Главную роль на этом уровне играют исследования геоморфологических условий, которые отражают закономерности регионального геолого-структурного строения территорий. На данном уровне можно оценить региональные и в ряде случаев зональные гидрогеологические и инженерно-геологические особенности изучаемых регионов: наличие гидрогеологических структур, элементов структурно-тектонической обстановки, региональных разрывных нарушений и зон трещиноватости. Выполняется инженерно-геологическое и гидрогеологическое районирование на уровне регионов и областей, реже районов. На этом же уровне выявляются условия формирования подземных вод (области питания, транзита и разгрузки) (рис. 2, 3).

На локальном уровне исследуются КФС в масштабах крупнее $1:1\,000\,000$. При дешифрировании таких снимков важное значение имеют геоморфологические и гидрографические инди-

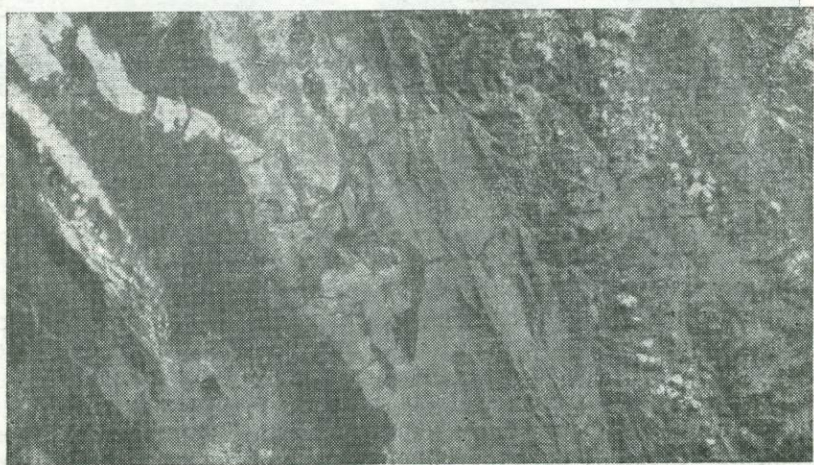


Рис. 2. Космический снимок регионального уровня генерализации восточной Ферганы, полученный со спутника «ЕРТС-1»

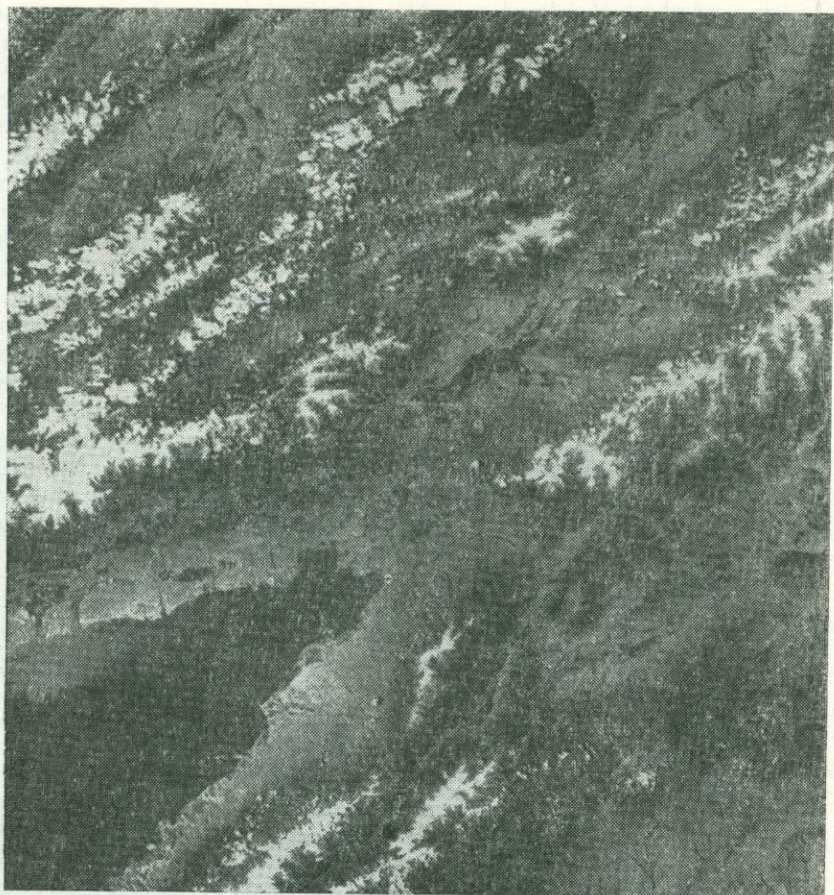


Рис. 3. Космический снимок регионального уровня генерализации района Киргизии, полученный с орбитальной станции «Салют-4»

каторы. Значительную роль приобретают комплексные ландшафтные индикаторы на уровне экотярусов сложных урочищ, местности и ландшафтов. Осуществляется главным образом ландшафтно-индикационное картирование территорий, которое служит основой для последующей интерпретации с целью решения инженерно-геологических и гидрогеологических задач при мелко- и среднемасштабном картировании. Оценивается территория по условиям распространения и характеру формирования подземных вод, по типу распространения экзогенных процессов и их интенсивности, выполняется районирование территорий с выделением областей, районов и участков.

Детальный уровень охватывает снимки в масштабах крупнее 1:100 000. К ним относятся преимущественно материалы аэрофотосъемки. На снимках таких масштабов исследуются сравнительно ограниченные площади, в связи с чем установить пространственные закономерности гидрогеологических и инженерно-геологических условий на территории практически невозможно. В то же время отдельные элементы выявляются хорошо, например, выходы подземных вод в виде источников, площади заболачивания, очаги засоления почво-грунтов, участки с различной глубиной залегания грунтовых вод и т. д. Это дает возможность осуществлять средне- и крупномасштабное гидрогеологическое и инженерно-геологическое картирование, а также решать специальные вопросы инженерно-геологического изучения экзогенных процессов.

В последние годы материалы съемок из космоса уже применяются при решении различных задач гидрогеологии и инженерной геологии. В ряде научно-исследовательских, проектных и производственных организаций проведены первые эксперименты в этом направлении.

Глава 2

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Со времени запуска Советским Союзом первого в мире искусственного спутника Земли (4 октября 1957 г.) и первого полета человека в космос (12 апреля 1961 г.), выполненного Ю. А. Гагариным, аэрогеология сделала огромный скачок вперед. За этот период благодаря успехам космонавтики оформилось новое направление в геологической науке — космическая геология [67, 141]. Оно вооружено комплексом дистанционных методов изучения земной коры, объединенных общей методической основой [141]. Под дистанционными методами в настоящее время понимается комплекс исследований поверхности Земли и земной коры с помощью воздушных или космических средств и регистрации тех или иных параметров физических полей Земли различными приемными устройствами с последующим анализом и интерпретацией полученной информации.

При дистанционном изучении поверхности Земли с помощью космических аппаратов — пилотируемых космических кораблей (ПКК), искусственных спутников Земли (ИСЗ) и орбитальных научных станций (ОНС) используются электромагнитные волны различного диапазона. В зависимости от используемой области



Таблица 1
Основные виды и характеристика дистанционных методов

Виды дистанционных методов	Физическая основа метода	Используемые длины волн	Чувствительный элемент	Разрешение изображения на местности, м	Получаемые данные	Условия применения
КФС	Регистрация отраженного электромагнитного излучения Солнца в широком диапазоне спектра	0,32—1,0 мкм	Различные типы пленок	20—300	Фотоснимки	Дневное время, хорошие метеоусловия
ТС	То же	0,32—0,75 мкм	Приемники типа „Видикон“ с электронным сканированием	300—3000	Телевизионное изображение	То же
ИК	Регистрация собственного теплового электромагнитного излучения объектов	1,5—14 мкм	Полупроводниковые приемники	300—3000	Тепловое изображение	Дневное и ночное время, почти при любых метеоусловиях
РТ	То же	0,3—10 см	Узконаправленная антенна	300—3000	То же	То же
РЛ	Регистрация отраженного электромагнитного излучения от источника, установленного на борту носителя	1—100 см	Радиолокационная антенна	300—3000	Регистрограммы отраженных радиолокационных контрастов изображения	„ „
МС	Регистрация отраженного электромагнитного излучения от Солнца, от собственного теплового излучения объектов Земли и от источника, установленного на борту носителя	0,41—12,5 мкм	Фильтр с фотоэлектронным умножителем „Монохроматор“	70—100 м	Регистрограммы отраженных электромагнитных и радиоволн. Спектральные изображения	„ „

спектра различают несколько видов съемок [25], из которых в настоящее время разрабатываются: космическая фотосъемка, многозональная космофотосъемка, телевизионная, инфракрасная, радиолокационная и многоспектральная. В связи с тем, что в ряде крупных монографических изданий детально рассмотрены технические условия проведения этих съемок и их основные параметры [76, 142, 157], мы приводим лишь краткое их освещение и изложение опыта применения при решении задач гидрогеологии, инженерной геологии и смежных областей наук о Земле (табл. 1).

КОСМИЧЕСКАЯ ФОТОСЪЕМКА

В комплексе дистанционных методов изучения земной поверхности и верхней части земной коры космофотосъемка в настоящее время играет основную роль. По полноте и объему информации, содержащейся в одном кадре, с космофотоснимками не может сравниться никакой другой вид дистанционной регистрации [25].

При фотосъемке с орбитальной станции «Салют-4» один космический снимок покрывает земную поверхность площадью 160 тыс. км², в то же время при съемке с самолета с высоты 7000 м можно этим же фотоаппаратом на один кадр заснять только 80 км² [68].

Полнота и объем информации, получаемые с космофотоснимков, зависят от их разрешающей способности, определяемой: освещенностью ландшафтов, их яркостью, спектральными характеристиками, интервалом яркостей, оптическими свойствами объектива, техническими характеристиками фотопленок, масштабом съемки [25, 46]. Современная аппаратура позволяет получать снимки с разрешением на местности 30 м, а сильно контрастных объектов до 5—10 м.

Фотографирование с космических летательных аппаратов производится камерами формата от 24 до 70 мм с фокусным расстоянием от 38 до 3000 мм с высот от 300 до 400 км. Масштабы снимков имеют широкий диапазон [12].

В геометрическом отношении космические фотоснимки существенно отличаются от аэрофотоснимков. Они имеют большие искажения за счет сферичности Земли, изменения высоты полета, рефракции атмосферы и т. д. В то же время искажения за рельеф на космофотоснимках практически отсутствуют [76]. Несмотря на то, что принципы проведения космической фотосъемки во многом заимствованы из аэрофотосъемки, имеющийся опыт показал, что установка фотоаппаратуры на космических кораблях способствует получению качественно и количественно новых данных. Это обусловлено высотой и орбитальной скоростью полета космического корабля (табл. 2).

При изменении высоты полета корабля и угла наклона съемочной камеры можно значительно увеличить или уменьшить

Таблица 2

Обобщенные сведения о космических съемках Земли (по Ал. А. Григорьеву, 1975)

Высота орбит, км	Космические летательные аппараты	Видимая	ИК ₁ (0,7—1,3 мкм)	ИК ₂ (3,4—4,2 мкм)	ИК ₃ (8—12 мкм)	Много-спектральная	Спектрометрическая	Микро-волновые	Разрешение изображения в видимой зоне спектра, м	Ширина полосы захвата, км
150—500	„Меркурий-1—8“	+	—	—	—	—	—	—	20—300	100
150—500	„Меркурий-9“	+	—	—	+	—	—	—	20—300	100
150—500	„Восток-1, 3—6“	+	—	—	—	—	—	—	—	—
150—500	„Восход-1, 2“	+	—	—	—	—	—	—	20—300	100
150—500	„Союз-3—6, 8“	+	—	—	—	—	—	—	20—300	100
150—500	„Союз-7, 9“	+	—	—	—	—	+	—	20—300	100
150—500	„Джеминай-3—10, 12“	+	—	—	—	—	—	—	20—300	100
150—500	„Аполлон-6“	+	—	—	—	—	—	—	20—300	100
150—500	„Салют-1“	+	—	—	—	—	+	—	20—300	100
150—500	„Аполлон-9“	+	—	—	—	+	—	—	20—300	100
150—500	„Союз-12“	+	—	—	—	+	—	—	20—300	100
150—500	„Союз-13“	+	—	—	—	+	+	—	20—300	100
150—500	„Скайлэб“	+	+	—	+	+	—	—	20—300	100
500—1000	ЕРТС-1	+	+	—	—	+	—	—	20—300	100
500—1000	„Джеминай-11“	+	—	—	—	—	—	—	20—300	100
500—1000	„Космос-122, 144, 156, 184, 206, 226“	+	—	—	+	—	—	—	300—3000	1000
500—1000	„Космос-243“	—	—	—	—	—	—	+	300—3000	1000
500—1000	„Метеор-1—15“	+	—	—	+	—	—	—	300—3000	1000
500—1000	„Тайрос-1—10“	+	—	—	—	—	—	—	300—3000	1000
500—1000	„Нимбус-1“	+	—	+	—	—	—	—	300—3000	1000
150—500	ЭССА-1	+	—	—	—	—	—	—	300—3000	1000
1100—1500	„Нимбус-2“	+	—	+	—	—	—	—	300—3000	2000
1100—1500	„Нимбус-3“	+	+	+	—	—	—	—	300—3000	2000
1100—1500	„Нимбус-4“	+	—	—	+	—	—	—	300—3000	2000
1100—1500	ЭССА-2—9	+	—	—	—	—	—	—	300—3000	2000
1100—1500	НОАА-1, 2	+	—	—	+	—	—	—	300—3000	2000
Свыше 1500, обычно 30000	„Аполлон-11, 17“	+	—	—	—	—	—	—	3000—15000 и хуже	3500 (обычно диск Земли)
	„Зонд-5, 7“	+	—	—	—	—	—	—	—	—
	АТС-1—3	+	—	—	—	—	—	—	—	—

площадь съемки, вплоть до целого полушария. Например, одним и тем же аппаратом КАТЭ-140 при съемке с орбитальной станции «Салют-4» можно за 5 мин полета заснять 1 млн. км², в то время как в процессе маршрутной съемки с самолета за это же время будет сфотографировано лишь 300 км² [68].

Качественно новой особенностью космофотосъемки помимо обзорности является естественная генерализация деталей изучаемых объектов, в результате чего обеспечивается возможность получения объективной и оперативной информации с различной степенью детализации и генерализации — от узлокальной до региональной и даже глобальной, что невозможно сделать другими средствами.

За счет естественной генерализации роль почвенно-растительного покрова как маскирующего элемента на космофотоснимках снижается и геологические объекты выглядят на них более отчетливо и выразительно. При этом создается возможность дешифрирования не только структурных элементов земной коры, а даже целых структурных зон как современных, выраженных в рельефе, так и погребенных, как бы просвечивающих через толщу покровных отложений [38, 141]. Такие особенности космических фотоснимков и явились своего рода «толчком» в развитии космической структурной геологии. За последние 15 лет в мировой литературе по геологии отмечается своеобразный «информационный взрыв» по вопросам применения космических фотоснимков при изучении складчатых и разрывных тектонических структур, подвижных тектонических зон, проявлении структур в разновозрастных литолого-стратиграфических комплексах. Количество публикаций по этим вопросам в настоящее время значительно возросло. Причем наибольшее их количество получено о разломах земной коры [70, 141].

Геологическое дешифрирование космических фотоснимков выявляет в ряде случаев новые категории объектов, не находившие ранее отображения на геологических картах [11, 14]. Так, например, в последние годы выделен особый тип глубинных разломов — кольцевые, что позволило выявить целый ряд кольцевых структур, перспективных на поиски нефти, газа, полиметаллических руд [2, 13, 54, 60, 68, 76, 170]. То же можно сказать и об успехах по использованию космофотоснимков при изучении стратиграфии, литологии, расчленения магматических образований [30, 55, 59, 60, 61, 67, 181]. Все это послужило основой для развития нового вида региональных геологических исследований — космофотогеологического картирования, сочетающего в себе изучение и отображение на фотокартах геологических объектов, развитых на поверхности, с важными элементами глубинной тектоники [14, 56].

Значительные успехи достигнуты также и при использовании КФС в геоморфологических исследованиях, в частности, при изучении морфологии современных форм рельефа (их ориентиров-

ки, пространственного положения), морфоструктурном анализе, геоморфологическом картировании, районировании, изучении экзогенных процессов [29, 38, 46, 58, 60, 61, 62, 63, 86, 187].

Космическая фотосъемка в геологии в настоящее время находится на втором этапе своего развития. Первый этап — выявление возможностей космофотосъемки для решения геологических задач уже закончился. Он был ознаменован выходом в свет крупных монографических работ, посвященных рассмотрению технических возможностей космофотосъемки, определению круга задач геологии, геоморфологии и тектоники, решаемых с помощью ее материалов, а также предварительному и пока еще небольшому опыту в этом направлении [76].

Десятая пятилетка ознаменована началом нового этапа развития космической геологии — этапа реализации выявленных возможностей космической фотосъемки при решении конкретных практических задач и дальнейшего совершенствования методики исследований.

Применение космической фотосъемки в гидрогеологии и инженерной геологии находится в настоящее время на первом этапе развития, т. е. на этапе выявления возможностей и разработки методических основ гидрогеологического и инженерно-геологического дешифрирования космофотоснимков. И это является закономерным явлением, так как гидрогеологические и инженерно-геологические исследования по космическим снимкам базируются на успехах в области решения задач структурной и поисковой геологии. Без выявления возможностей дешифрирования структурно-тектонической, геолого-литологической и геоморфологической обстановки невозможно решение задач гидрогеологии и инженерной геологии. Это связано с тем, что гидрогеологическая и инженерно-геологическая обстановка любого региона Земли обусловлена структурно-геологическими, геоморфологическими и ландшафтно-климатическими факторами.

За последние годы в СССР и за рубежом определены возможности использования космофотоснимков для решения задач гидрогеологии и инженерной геологии, проведены первые экспериментальные работы в этом направлении. Публикаций, посвященных применению космофотоснимков в гидрогеологии и инженерной геологии, еще сравнительно мало, но даже имеющийся немногочисленный отечественный и зарубежный опыт позволяет считать, что космическая съемка может найти и уже находит применение при изучении грунтовых вод и связанных с ними процессов, условий формирования подземных вод, изучении водного баланса, ресурсов подземных вод, их искусственного восполнения, охраны от непроизводительных расходов и загрязнения, гидрогеологического, инженерно-геологического картирования и районирования, изучения экзогенных процессов. Ведущее место в разработке этого направления, так же как и вообще в

космических исследованиях, принадлежит Советскому Союзу и США.

В СССР первые работы в области изучения грунтовых вод по материалам из космоса появились в начале 70-х годов [1, 3, 36, 105, 142]. В этих работах рассмотрен опыт применения мелкомасштабных фотоснимков, полученных с ПКК «Союз-6», «Союз-8», «Союз-9», для выявления близкозалегающих грунтовых вод в аридных районах Средней Азии, условий их формирования, транзита и разгрузки в гидроиндикационных целях. Несмотря на низкую разрешающую способность мелкомасштабных снимков, их использование позволило отдешифровать естественные потоки грунтовых вод [105]. Ряд снимков, полученных с кораблей «Джемини», дали возможность отдешифровать грунтовые потоки, фильтрующиеся в аллювиально-пролювиальных отложениях сухих русел в Сахаре [142]. Весьма перспективны мелкомасштабные снимки, полученные со спутника ERTS, запущенного США в 1972 г. и предназначенного для изучения природных ресурсов. Так, Ф. Уоббер и Р. Андерсон [171] использовали эти снимки при изучении береговой зоны с затопляемыми землями, для сравнения были проанализированы черно-белые и цветные снимки, полученные с ПКК «Джемини» и «Аполлон-9».

Использование космофотоснимков, полученных с орбитальной станции «Салют-4», позволило провести анализ гидрологического режима Аральского моря, зафиксировать положение его береговой линии, четко определить ряд изменений в очертаниях береговой зоны. С помощью этих снимков были определены перспективные участки для поисков грунтовых вод в районе Мангышлака и Северного Прикаспия [68].

Наиболее полно используются космофотоснимки при изучении условий формирования грунтовых вод пустыни, где возможно дешифровать ряд параметров, обуславливающих формирование этих вод: песчаные массивы, такыры, сеть сухих русел, каналы и др. [170, 171, 173, 177]. Хорошо прослеживаются по космическим снимкам грунтовые потоки, фильтрующиеся в сухих руслах аридных областей. Такие потоки наблюдались вдоль вадии Саура в Алжире [181], в низовьях р. Куйсеб в юго-западной части Африки [177]. По снимкам из космоса возможно установление ряда гидрологических параметров, имеющих значение для формирования подземных вод, например русловая деятельность рек, водный режим озер [64, 103, 134, 135]. Дифференцированное фотонизображение имеют все более или менее крупные солончаки, являющиеся в пустынях областями разгрузки многих грунтовых потоков [36, 103].

Благодаря космофотоснимкам оказалось возможным по-новому оценить влияние разрывной тектоники на формирование гидрогеологической обстановки. С помощью космофотоснимков, полученных со спутника «ERTS-1», в США составлены карты глу-

бинных разломов Земли, что позволило гидрогеологам обнаружить потенциальные запасы грунтовых вод в северной части штата Аризона [57]. При анализе космических снимков, полученных с ПКК «Союз-12» и «Союз-13», выявлена активная разгрузка подземных вод в зонах пересечения разнонаправленных разломов в районе горы Казбек на Кавказе [101] и вулканического массива Арагац в Армении [133].

Если в гидрогеологии уже имеется некоторый, хотя и незначительный опыт использования материалов космофотосъемки, то в инженерной геологии в этом направлении сделаны пока только первые шаги. Известны лишь единичные работы по дешифрированию оползней и обвалов по материалам фотосъемки со спутника «ERTS-1» [83], инженерно-геологическому картированию и районированию в горно-складчатых областях по материалам фотосъемки с АМС «Зонд-5» и ОНС «Салют-4» [41, 42]. Однако на перспективность использования космических фотоснимков для целей инженерной геологии указывалось неоднократно [25, 116, 130, 131]. Космофотоснимки могут оказать неоценимую роль при выделении геологических формаций, общих закономерностей формирования и распространения определенных сочетаний горных пород с учетом структурно-тектонических условий и истории геологического развития территорий, для выделения геолого-генетических комплексов пород, изучения их состава и сочетаний различных петрографических типов. Это особенно важно для понимания природы экзогенных процессов и оценки состояния горного массива, а также для характеристики гидрогеологических и геоморфологических условий.

Опыт дешифрирования космических фотоснимков показал, что однозональное фотографирование обеспечивает получение информации с недостаточной для научного и практического использования степенью достоверности. В связи с этим в последние годы разработан метод многозональной фотосъемки, открывший большие перспективы в изучении природных ресурсов Земли.

В основе многозональной съемки лежит фотографирование одной многообъективной камерой или комплектом синхронно работающих фотокамер с разными комбинациями фотопленок и светофильтров, дающих изображение в различных зонах спектра [25, 92].

Первый опыт получения трехзональной фотографии с самолета относится к 1955—1956 гг., когда Р. Колвелл с ее помощью определил состояние посевов и выявил очаги инфекционных заражений [176]. Первые космические многозональные фотографии получены с ПКК «Меркурий-8» в 1962 г. Позже, в 1969 г., с ПКК «Аполлон-9» были получены фотографии в четырех спектральных интервалах (0,51—0,89; 0,47—0,61; 0,68—0,89 и 0,59—0,72 мкм), которые были использованы для сельскохозяйственной, геоботанической и геологической интерпретации [25,

46]. Планомерное проведение многозональных фотосъемок из космоса началось как в США, так и в СССР с 1973 г. В Советском Союзе они выполнялись с ПКК серии «Союз», с ИСЗ «Метеор-18» и с ОНС «Салют-4» и «Салют-5». В США многозональные съемки проводились с ИСЗ «ERTS-1», «Лэндсат-1» и с ОНС «Скайлэб».

В процессе полетов ПКК «Союз-12» и «Союз-13» было выполнено многозональное фотографирование и спектрографирование многообъективными камерами как на черно-белых, так и на спектрзональных пленках [68, 70].

Фотоаппарат многозональной съемки (ФМС), предназначенный для съемки в четырех зонах оптического диапазона (510—630; 600—770; 630—840; 400—720 км), был установлен на ОНС «Салют-4». В период работы этой станции, пилотируемой летчиками-космонавтами СССР П. И. Климуком и В. И. Севостьяновым (вторая экспедиция) и А. А. Губаревым и Г. М. Гречко (первая экспедиция), были получены многократные многозональные фотоснимки в разных масштабах на многие районы СССР [68].

В США многозональное фотографирование осуществлялось главным образом с ресурсного спутника «ERTS-1», основной задачей которого являлось определение возможностей дистанционного изучения природной среды. Основная информация была получена четырехканальным сканером, с помощью которого была снята полоса поверхности Земли шириной 185 км. В результате на всю площадь съемки был получен комплект зональных черно-белых снимков, а также снимки с синтезированным изображением в масштабе 1 : 1 000 000 [70]. В настоящее время по результатам многозональных съемок из космоса выявляются возможности решения с их помощью различных задач по изучению природных ресурсов. Материалы многозональных съемок используются главным образом при решении сельскохозяйственных проблем — оценки состояния посевов культур, оценки продуктивности пастбищных и лесных угодий, картографировании сельскохозяйственных угодий и оценке земель [25, 92], проблем океанологии и гидрологии водоемов — перемешивания поверхностных вод в водоемах, вблизи берегов, выявления участков сброса кислот в водоемы, участков загрязнения морских вод нефтепродуктами и т. д. [57, 59, 173]. Интересны опыты для оценки площадей тающего снега и аккумуляции ледников [70], глубин воды, картографирования затопляемых территорий, мутности воды в водохранилищах, озерах и устьях рек [59, 173].

Находят применение многозональные фотографии и в геологических исследованиях, главным образом в структурно-геологических целях [38, 150]. Несомненно, что применение их в решении задач гидрогеологии и инженерной геологии также весьма перспективно. Первые опыты в этом направлении уже проведены. Так, например, выявлено, что при дешифрировании глу-

бин залегания грунтовых вод в пустынях и процессов, связанных с изменением уровня грунтовых вод и степени их минерализации, наиболее полную информацию несут снимки в зоне 0,6—0,72 мкм. Целесообразно изучение снимков и в зоне 0,63—0,84 мкм [34].

Получены интересные данные по использованию многозональных космофотоснимков при изучении ряда экзогенных процессов: эоловых, эрозионных, карстово-суффозионных [38, 170, 174]. В настоящее время многозональная съемка из космоса только начинает внедряться в практику решения народнохозяйственных задач. Еще не закончены экспериментальные работы и не полностью выявлены ее возможности. Но уже первые результаты свидетельствуют о больших перспективах этого вида съемки.

ТЕЛЕВИЗИОННАЯ СЪЕМКА

При телевизионной съемке светочувствительным элементом служит видикон, с которого сигналы передаются на наземные телевизионные приемники; с экранов последних фотографируют изображение, в результате чего получается растровый снимок [30]. Телевизионная система состоит из дистанционного приемника—фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), который может быть сенсibilизирован в ультрафиолетовой, видимой и ИК-областях спектра отражения света и собственного излучения Земли [25].

С помощью телевизионной съемки возможно оперативное и периодическое получение изображений большой обзорности на одну и ту же территорию.

Существенным недостатком телевизионных снимков является их более низкая разрешающая способность по сравнению с фотоснимками. Их наземное разрешение составляет 500—3000 м. Масштабы телевизионных снимков колеблются в пределах 1 : 5 000 000—1 : 175 000 000 [46]. Важным преимуществом теле-снимков перед любым другим видом дистанционной регистрации является возможность периодического их получения как на весь земной шар, так и на любой его регион, что важно для изучения динамики некоторых природных явлений, в основном метеорологических [25]. Первые ТВ-съемки Земли были проведены в 1960—1965 гг. с ИСЗ серии «Тирос и Нимбус» (США), оборудованных телевизионными камерами и радиометрическими приборами и предназначенных в основном для метеорологических целей.

В СССР ТВ-съемка Земли проводилась с ИСЗ «Космос» с 1966 г. С запуском ИСЗ «Космос-122» начинается создание ИСЗ системы «Метеор», закончившееся к моменту запуска ИСЗ «Космос-226». Телевизионные изображения имели малую степень разрешения (1,2—2,0 км), что позволяло получать при их де-

шифровании характеристики о почвах, растительности, рельефе, увлажнении, геологическом строении, гидрографии, снежном покрове [46]. В то же время в США оперативная система глобальной ТВ-съемки осуществлялась с ИСЗ ЭССА. ТВ-изображения, полученные с этого спутника, имевшие высокое качество, нашли применение при изучении снежного покрова, развития и динамики пыльных бурь, изменения характера увлажнения почв на равнинах [170, 177].

В начале 70-х годов произведены запуски ряда искусственных спутников Земли, обеспечивших получение высококачественных изображений, нашедших применение и в геологических исследованиях. В США были запущены спутники НОАА-2, Нимбус-4, Нимбус-5, ЕРТС, в Советском Союзе — серия спутников системы «Метеор».

К настоящему времени с помощью спутниковых систем получено уже вполне достаточное количество изображений земной поверхности, чтобы можно было оценить существующие и потенциальные возможности их использования для геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических целей (табл. 3).

Сейчас уже определено, что ТВ-снимки являются незаменимым фактическим материалом для построения космогенетических

Таблица 3

Некоторые параметры оптических ТВ-систем метеорологических ИСЗ (по Ал. А. Григорьеву, 1975)

Спутник	Разрешение на местности, км	Поле зрения, км	Угол поля зрения, градус
„Космос-122, 144, 156, 184, 206, 226*“	1,25	1000	76
„Метеор-1—4, 6—9*“	1,25	1000	76
„Метеор-5, 10*—15*“	1,7	1400	76
„Тайрос-1, 2*“	2,5—3,0 и 0,3—0,8	1200×1200 и 120×120	104 и 12,7
„Тайрос-3, 5, 7, 8*, 10**“	2,5—3,0	1200×1200	104
„Тайрос-9**“	2,5—3,0 и 2,0	1200×1200 и 725×725	104 и 80
ЭССА-1, 2*, 3, 4*, 5, 6*, 7, 8*, 9*	3,2	3400×3400	108
„Нимбус-1**“	0,3—0,77 и 0,8—1,8	300×300—650×650 850×850—1950×1950	38 и 108
„Нимбус-2**“	0,92	2200×2200 и 730×730	38 и 108
„Нимбус-3, 4**“	3,2—3,3	2700×2700 и 3330	108
„ИТОС**“	3,2	2500×2160 и 2500×2560	108
„НОАА-1**“	3,2	3300×2220 и 3330×3330	108

* Спутники, с которых велась съемка в режиме запоминания и непосредственной передачи.

ских карт, которые позволяют выявить морфологию тектонической структуры и взаимоотношения между крупными структурными зонами [11, 14, 55]. Такие карты построены для многих регионов СССР [14, 67], они представляют собой основу для металлогенического районирования и прогнозирования месторождений полезных ископаемых.

В решении задач гидрогеологии ТВ-снимки также находят применение. Стертц и Картер [170] сообщают, что для пустынных и полупустынных районов Боливии, Аргентины, Чили и Перу по полученным с ИСЗ ЕРТС изображениям были определены типы солончаков по условиям разгрузки грунтовых вод.

Для построения сверхмелкомасштабных обзорных карт гидрогеологического районирования Юго-Западного Казахстана были использованы ТВ-снимки с ИСЗ «Метеор-10». При этом используемые снимки позволили получить данные о гидродинамике подземных вод [36]. Использование ТВ-снимка плато Устюрт, полученного с ИСЗ «Метеор-18», позволило выявить: участки глубин залегания грунтовых вод в интервалах 0—2, 2—5, 5—10 и более 10 м; региональные области питания, транзита и разгрузки грунтовых вод; различия в их минерализации в разных гидрогеологических районах [103].

В инженерной геологии ТВ-снимки также несут в себе информацию обзорного типа. С их помощью можно составлять обзорные карты инженерно-геологического районирования [131]. При дешифрировании ТВ-снимков, полученных с ИСЗ ERTS на территорию Канады в районе долины р. Пис-Ривер, оконтурены участки растущей овражной эрозии и активных оползней [170, 183, 185]. В целом, несмотря на имеющийся опыт использования ТВ-снимков при решении задач гидрогеологии и инженерной геологии, возможности телевизионной съемки в данном направлении до конца еще не выявлены и предстоит большая экспериментальная работа по использованию ТВ-снимков при решении конкретных задач в различных регионах.

ИНФРАКРАСНАЯ СЪЕМКА

Инфракрасная съемка основана на способности природных тел испускать ИК-лучи, определяемой температурой тела и его излучательной способностью. Величина теплового излучения зависит от теплоемкости и теплопроводности тела, наличия облачности и ветра, рельефа и относительной высоты местности, выпадения осадков.

Первые сведения по ИК-съемке относятся к 1961 г., когда был получен патент на систему для получения изображения нагретых объектов при помощи ИК-лучей. ИК-съемка производится в длинноволновой части ИК-области, в диапазоне от 2 до 20 мкм. В качестве регистрирующей аппаратуры используется сканирующая электронная аппаратура с полупроводнико-

вым приемником излучения, который преобразует невидимую тепловую энергию в видимый сигнал на экране электронно-лучевой трубки. Специальная фотоприставка позволяет фиксировать изображение с экрана электронно-лучевой трубки на фотопленку. По опубликованным данным [90] разрешающая способность аппаратуры составляет 5 угловых минут.

Установлены две оптимальные области спектра для ИК-съемки: 1,5—5,3 и 7,5—14 мкм, обусловленные наличием «окоп прозрачности» атмосферы. Последняя область наиболее перспективна для геологических целей, так как в ней располагается максимум теплового излучения большинства природных объектов и минимально сказывается влияние отражения солнечного излучения.

В отличие от обычной аэрофотосъемки, где изображение определяется спектральной отражательной способностью объектов, ИК-изображение возникает под действием собственного излучения природных объектов (рис. 4).

Тепловое изображение зависит главным образом от теплофизических свойств объектов, их влажности, структуры, содержания органических веществ, наличия растительного покрова и обусловлено наличием температурных контрастов. По своим изобразительным свойствам тепловые снимки несколько ниже фотографических. Для них характерны: низкое разрешение; невысокая контрастность изображения, связанная с передачей тепловых контрастов; контурный характер изображения; геометрическая неопределенность положения точек на снимке; изменчивость изображения в течение суток [25]. Однако положительные качества, присущие тепловой съемке (передача дополнительных физических свойств объектов), обуславливают перспективность этого вида съемки при геолого-географических исследованиях.

Инфракрасная съемка рассматривается как весьма полезное дополнение к аэрофотосъемке при изучении геологических образований. Дешифрирование ИК-снимков осуществляется исходя из следующих положений: во-первых, одновозрастные и близкие по литологическому составу геологические образования при прочих равных условиях должны обладать близкими тепловыми контрастами и, следовательно, отражаться одним тоном и сходным рисунком; во-вторых, на характер тепловых контрастов основное влияние оказывают экспозиция, крутизна склонов и влажность поверхности. В свою очередь увлажненность поверхности может быть связана с выходами грунтовых вод, капиллярным подтягиванием, инфильтрацией атмосферных осадков, особенно интенсивных в отрицательных микроформах рельефа, в микрозападинах, часто приуроченных к зонам повышенной трещиноватости, которые связаны с тектонически ослабленными участками.

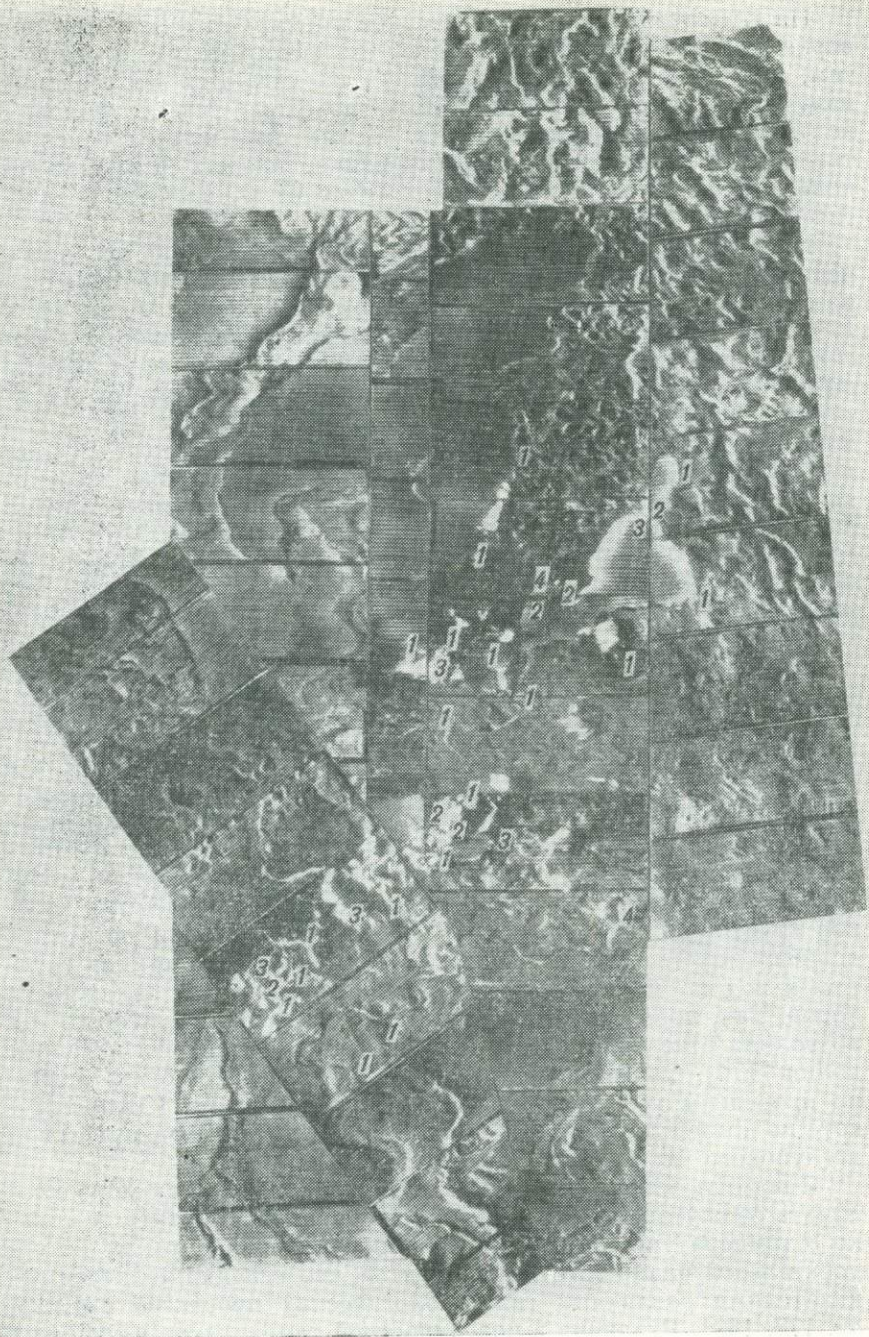


Рис. 4. Инфракрасный аэрофотоснимок очагов термальной деятельности. По Б. В. Шилину.

1—термальные источники; 2—газопаровые струи; 3—водяные котлы; 4—грязевые вулканы

На ИК-снимках, снятых в дневное время, более нагретые поверхности получают более темный тон изображения. В связи с тем, что геологические образования различаются по тепловой излучательной способности и дают довольно резкие тепловые контрасты на изображениях, ИК-съемка оказывается перспективной при геологическом картировании, поисках полезных ископаемых, а также при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях.

В зарубежной литературе имеются сведения об успешном использовании ИК-съемки для геологического картирования по различиям в коэффициентах теплового излучения пород [174, 179, 184]. При этом по тональным различиям на тепловых аэро-снимках можно было четко отличить песчаники от известняков, выделить контакты между серпентинитами и базальтами, структурные особенности пород и обводненные зоны трещин и разломов, а также неглубоко залегающие соляные купола. Весьма перспективным оказалось применение ИК-съемки при исследовании очагов вулканической деятельности. В этом направлении работы проводились как в СССР, так и за рубежом [49, 50, 51, 167, 179]. С помощью ИК-съемки удавалось обнаружить не только потухшие вулканы, но и по повышению температуры действующих вулканов в период вулканической деятельности осуществлять прогноз извержений.

Результаты исследований советских и американских специалистов свидетельствуют также об эффективности ИК-съемки при гидрогеологических работах, в частности при изучении термальных вод [38, 49, 50, 90, 167]. Проведенная в США ИК-съемка в Йеллоустоунском заповеднике позволила очень четко дифференцировать по температуре многочисленные источники, выходящие на поверхность, а съемка на Гавайских островах дала возможность обнаружить ряд источников в прибрежной полосе моря. Весьма ценным является факт удачного поиска подземных потоков грунтовых вод с помощью ИК-съемки, которая позволяет дешифровать участки близкого к поверхности залегания грунтовых вод по их прямому признаку — повышению влажности пород. Так, повышенная влажность над потоком грунтовых вод позволила отчетливо выделить положение древних погребенных долин [174]. Службой геологической съемки США были успешно проведены комплексные исследования в штате Южная Дакота по применению ИК-съемки для обнаружения подземных вод неглубокого залегания (1,5—4,5 м) [170].

С помощью аппаратуры для инфракрасной съемки можно получать со спутников информацию, позволяющую судить не только о температуре земной и водной поверхности, а также об относительной влажности почво-грунтов, что нередко является показателями различных гидрогеологических процессов [24, 25, 49, 177, 189]. Различия в поверхностной температуре изучаемых природных объектов позволяют по ИК-изображениям выявлять

наличие и распространение неглубоких водоносных горизонтов, выходы подземных вод на дневную поверхность, очаги их разгрузки, районы проявления гидротермальной деятельности, геотермические особенности криолитозоны. Инфракрасная съемка может быть использована также для характеристики мутности и загрязненности водных объектов [170, 174]. В настоящее время уже определены возможности ИК-съемки при гидрогеологических исследованиях болотных массивов, причем обоснована перспективность применения ИК-изображений для оценки вариации испарения в различных болотных микроландшафтах. [25].

На X Международном конгрессе гидрогеологов в Монпелье (Франция) * в сентябре 1974 г. французские ученые Ж. Вув, Л. Понтье и Ф. Сиру изложили новую методику применения дистанционной инфракрасной термографии в гидрогеологии. С помощью новой системы термографической аппаратуры для инфракрасной съемки, в основе которой лежит выделение изотермических интервалов, выявлены и идентифицированы выходы подземных вод в реках, источники грунтовых и артезианских вод, глубина залегания водоносных горизонтов. Регистрация теплового излучения подстилающей поверхности в инфракрасном диапазоне проводится статическим и сканирующим радиометрами (статический радиометр — ИК-излучение в диапазоне 8—14 мкм). Регистрация теплового излучения ведется фотографическим путем. С помощью сканирующего радиометра производится съемка всей поверхности под углом 45° и по вертикали в диапазоне 10,5—12,5 мкм. Данные регистрируются на магнитной ленте.

Как установлено специальными исследованиями [175], коэффициенты спектральной яркости природных объектов понижаются с увеличением влажности (при прочих равных условиях). Это позволяет по фототону ИК-снимка определить влажность поверхностных отложений и почв [24, 25, 45, 46, 90], т. е. в ряде случаев непосредственно определять участки с неглубоко залегающими грунтовыми водами [174, 175, 185]. Так, Репре [187] по ИК-снимкам, сделанным в период, когда уровень грунтовых вод был особенно высок, проводил изучение болот в эстуарии Шаранта. По ИК-снимкам удалось проследить распределение грунтовых вод в аридных областях [190]. Особо следует отметить опыт дешифрирования ИК-снимков для определения потоков грунтовых вод [195], а также дешифрирования высотного аэроснимка, сделанного в ИК-зоне для определения гидрогеологических особенностей закарстованного массива [174]. Карстовые явления хорошо дешифрируются также по цветным ИК-снимкам из космоса, что было выполнено при изучении района Аббон в штате Техас по снимкам, полученным с «Аполлона-9»

* Доклады к X конгрессу гидрогеологов в Монпелье (Франция), 1974 г.

с высоты 200 км и мелкомасштабным высотным снимком в штате Флорида [142]. Р. Лион [182] указывает на возможность использования для обнаружения грунтовых вод, а также выходов термальных вод оптико-механического сканера расширенного диапазона или «термального» сканера.

Космические съемки, проведенные в ИК-зоне спектра, позволяют проводить построение структурных схем, с помощью которых можно прогнозировать условия и границы распространения артезианских бассейнов. По данным Вермунда [193], дешифрировавшего ночной ИК-снимок аридных районов США, полученный с высоты 9—10,5 км, возможно определить наличие подземных вод на глубине до 200 м. Еще более глубоко залегающие водоносные отложения (более 800 м) обнаружены с помощью ИК-снимков на острове Мадагаскар [186], где эти исследования проводились в комплексе с наземными проверочными работами. Обводненные региональные тектонические нарушения также получают специфическое отражение на ИК-снимках [182, 190].

Рассмотренные примеры наглядно иллюстрируют возможности ИК-съемки при решении гидрогеологических и инженерно-геологических задач. Поэтому перед гидрогеологами в настоящее время стоит задача опробования ИК-съемки при решении конкретных задач и создания методики интерпретации ИК-изображений.

РАДИОФИЗИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Радиофизическая съемка является одним из наиболее перспективных вспомогательных методов дистанционной регистрации, основанным на различной отражательной способности радиоволн от горных пород [30]. По характеру и диапазону электромагнитного излучения радиофизическая съемка подразделяется на пассивную радиолокационную, или радиотепловую съемку ($\lambda=0,3—10$ см), и активную радиолокацию, или собственно радарную съемку ($\lambda=1—100$ см). В основе радиотепловой съемки лежит регистрация естественного излучения Земли пропорционально первой степени радиационной температуры [10].

Тепловые контрасты, регистрируемые при радиотепловой съемке, обусловлены различиями в излучательной способности нагретых тел. Суточные колебания ее невелики и стабилизируются зимой, максимальные же тепловые контрасты наблюдаются между водой и сушей. При этом они существенно изменяются при изменении влажности, засоленности и вещественного состава пород [10].

Радиотепловая съемка характеризуется малой разрешающей способностью, что сильно ограничивает ее возможности в геологии. Однако регистрация термических аномалий глобального характера (крупных вулканических поясов, материков и океанов)

применима, но в основном для изучения объектов планетарного масштаба [74].

В основе радарной съемки лежит регистрация контрастов отражательной способности для радиоволн в малом диапазоне азимутального угла, что весьма перспективно для дистанционного изучения объектов земной поверхности с космических носителей [30]. Для радарной съемки наиболее широко применяются радиолокационные системы бокового обзора. Приемо-передаточная аппаратура принимает отраженные от объекта сигналы, преобразуя их и передавая на электронно-лучевую трубку, где фиксируется каждый сигнал. Разрешающая способность радарного изображения и его малый масштаб зависят от диапазона используемых волн (при размере отражающих площадок, меньшем половины длины волны, на снимке получается изображение радиотени вследствие зеркального отражения). Разрешающая способность существующих систем бокового обзора не превышает 200 м на местности [75]. Радиолокационное изображение имеет свои особенности: невысокое разрешение по сравнению с аэрофотографическим; повышенную контрастность изображений; своеобразный контурный характер площадных объектов и яркостноточечный характер изображения объектов, соизмеримых или меньших элемента разрешений; значительное искажение контуров; независимость качества изображений от освещенности (времени суток) и метеорологических условий (облачность).

Преимущества радиолокационных съемок, связанные с особенностями формирования радиолокационных изображений, определяют ее перспективность при гидрогеологическом и инженерно-геологическом картировании. Это касается прежде всего детализации строения рельефа, выявления складчатых и разрывных структур, различий литологического, механического состава и влажности горных пород, определения мощности поверхностных отложений, залегающих на коренных породах, выходов подземных вод и т. д. Существенно и то, что наличие снежного покрова и растительности не является мешающим фактором при получении изображения геологических образований. Круглогодичность и всепогодность делают радиолокационную съемку весьма ценной при картировании высокогорных районов и районов Крайнего Севера, где обычно погодные условия крайне неблагоприятны для проведения аэрофотосъемки [145].

Геологическая интерпретация радиолокационного изображения основывается на анализе тона, текстуры и очертаний рисунка. Характер и полнота геологической информации зависят от степени выраженности геологических особенностей в рельефе, влажности, литологическом составе горных пород. В зависимости от соотношения азимутов полета и простираения структуры различные детали на материалах радиолокационной съемки могут проявляться в различной степени. Среди специалистов радиолокационной съемки существуют разные мнения о ее воз-

возможностях для решения геологических задач. Некоторые из них считают, что РЛ-съемка не дает ничего нового по сравнению с аэрофотоснимками [30]. Однако большинство специалистов высказывается в пользу РЛ-съемки и считает, что радиолокационные изображения позволяют решать на новом качественном уровне такие задачи, как поверхностное зондирование земной коры на глубину до десятков метров, обнаруживать трещины и разломы в земной коре под рыхлыми отложениями, линзы грунтовых вод, определять минеральный состав пород [74, 75].

В последние годы в СССР широко применяется отечественная радиолокационная система «Торос». Опыт ее применения при решении геологических задач показал, что наиболее перспективно применение РЛ-съемки при изучении вещественного состава горных пород, особенностей геоморфологического строения, а также зон разломов и их обводненности [74, 75, 144, 145].

Использование материалов радарной съемки в гидрогеологии, в частности для поисков и изучения грунтовых вод, пока еще не вышло за рамки экспериментальных исследований. Эти работы, обзор которых приводят В. В. Козлов, Д. С. Сафронов [73] и В. И. Аковецкий [6], а также лабораторные исследования [98] показывают принципиальную возможность дешифрирования радарных снимков для обнаружения участков неглубокозалегающих грунтовых вод. М. Баколович [172], изучавший возможности использования материалов радарной съемки при исследовании карстового массива, отмечает возможность получения данных о циркуляции карстовых вод.

В последние годы наметилась тенденция к комплексированию радиолокационной съемки с другими видами дистанционной регистрации, в частности с высотной аэро- и космофотосъемкой [144]. Это дает положительный эффект для выявления геологических структур, картирования линеаментов и их обводненности [98].

В целом можно отметить, что начавшееся внедрение в практику гидрогеологических работ материалов РЛ-съемки, как показал опыт, весьма перспективно. Однако области применения РЛ-съемки и ее возможности до конца еще не выявлены и требуются дальнейшие экспериментальные работы в этом направлении.

МНОГОСПЕКТРАЛЬНАЯ СЪЕМКА

Многоспектральная съемка является в настоящее время наименее разработанным видом дистанционной регистрации и в то же время наиболее перспективным методом в изучении природных ресурсов из космоса. В основе многоспектральной съемки лежит получение ряда отдельных изображений в узких участках спектра путем многозонального сканирования местности.

Рассмотренная выше многозональная съемка представляет собой один из этапов развития многоспектральной съемки. Отличительными особенностями многоспектральных систем являются способность воспроизводить изображения в сравнительно узком спектральном интервале (до нескольких микрометров) и наличие нескольких каналов, соответствующих этим интервалам [10, 25]. Обычно каналы выбираются таким образом, чтобы они перекрывали видимую и ИК-область спектра. В видимой части многоспектральная съемка может производиться фотографическим путем (многозональная съемка), но при этом изображения получают в достаточно широких интервалах спектра (до сотен нанометров). Поэтому многоспектральные системы в качестве приемника имеют фотоэлектрические приборы, работающие как в видимой, так и в невидимой частях спектра.

Первая многоспектральная космическая съемка проводилась с ИСЗ «Нимбус-3» (США) в 1969 г. в пяти спектральных интервалах [25]. Весьма совершенная многоспектральная система была установлена на ресурсном спутнике «ЕРТС-1». Основная информация была получена при помощи четырехканального сканера, позволившего одновременно получить панхроматические, инфракрасные, цветные, радиолокационные снимки, а также результаты микроволновой радиометрии на каждый заснятый объект [70]. В 1973 г. в США была выведена на орбиту ОНС «Скайлэб», на борту которой были установлены многоспектральное фотографическое устройство, инфракрасный спектрометр, многоспектральное сканирующее устройство, СВЧ-радиометр и радиометр дециметрового диапазона [83].

В СССР многоспектральные съемки осуществлены с ИСЗ «Метеор-18» в 1974 г. На его борту была установлена четырехканальная многоспектральная система, позволяющая получать информацию в интервалах 0,5—0,6, 0,6—0,7, 0,7—0,8, 0,8—1,1 мкм, с разрешением деталей повышенного контраста 1,2—1,5 км.

Первые эксперименты по многоспектральной съемке из космоса показали, что этот метод дистанционной регистрации позволяет получить разнообразные данные о природных ресурсах. В большей степени это касается изучения растительного покрова, выявления дрейфа льдов, исследования влажности почв, уровня временных водоемов и картирования паводков, состава сельскохозяйственных культур [173].

В опубликованных работах широко освещаются результаты многоспектральных съемок, проведенных со спутника «ЕРТС-1», главным образом для целей гидрологии и океанологии.

Стертц и Картер [170] сообщают, что с помощью многоспектральных изображений удалось интерпретировать размеры и площади паводковых вод и озер на территории более чем 120 замкнутых бассейнов в Центральных Андах, определить очертания береговых линий озер эпохи плейстоцена и высоту

снежного покрова в верхних Андах в середине зимы. Имеется ряд работ, в которых проведен анализ и оценены результаты использования сканерных систем при изучении деформаций гидросети в результате затопления паводковыми водами и меандрирования русел [177, 185].

Определены возможности получения в региональном масштабе карт землепользования, характеристик почвы, необходимых при моделировании речных бассейнов, оценки элементов водного баланса для суши. Об исследованиях по оценке загрязненности поверхностных вод североамериканских озер сообщают Кокер, Хайер и др. [170] на основе анализа многоканального спутникового спектрометра.

Данных о применении сканерных съемок в гидрогеологии и инженерной геологии пока немного, имеются лишь единичные работы экспериментального характера. В США Л. Эмплейнкартом, Ф. Моравичем и Э. Ламора* (геологическая служба штата Алабама) по результатам дешифрирования многоспектральной фотографии штата Алабама, полученной с ПКК «Аполлон-9», были выявлены линеаменты, связанные с геолого-гидрогеологическими особенностями территорий. Так, авторы указывают на прямую связь между расположением высокодебитных родников с простиранием основных линейных структур. Исследования в этом направлении были продолжены с помощью ИСЗ «ЕРТС-1», Программа этих исследований предусматривала использование двух типов систем дистанционных приборов: видикона с обратным лучом и многоспектрального сканирующего устройства. Три камеры работали одновременно в трех диапазонах — сине-зеленом (0,475—0,575 мкм), красном (0,580—0,680 мкм) и двух ближних инфракрасных (0,7—0,8 и 0,8—1,1 мкм). Спутником проводилась повторная съемка всего штата через каждые 18 суток, что позволяло изучать некоторые явления в их динамике.

В СССР многоспектральные сканерные методы также находят применение в геологических исследованиях, но пока что главным образом в решении задач структурной геологии [8, 14, 30, 85]. В работе Г. В. Махина [85] описан опыт дешифрирования сканерных снимков в зонах спектра 0,3—0,4, 0,5—0,7 и 0,8—1,1 мкм. и приведены результаты дешифрирования элементов складчатой и разрывной тектоники в этих зонах. Данные о применении многоспектральных изображений системы «Метеор и Лэндсат» (США) для этих же целей содержатся в работе И. В. Флоренского и П. В. Флоренского [153]. Имеется ряд работ по применению сканерных космических изображений, полученных с ИСЗ «Метеор» для изучения геологической структуры среднеазиатских районов, Нижнего Поволжья, районов современного вулканизма земного шара и т. д. Освещению результатов этих работ посвящен специальный сборник [163].

* Доклады к X конгрессу гидрогеологов в Монпелье (Франция), 1974 г.

Решение задач гидрогеологии и инженерной геологии с помощью сканерных многоспектральных съемок находится пока в стадии разработки и представляется делом ближайшего будущего. Проведенный анализ современного состояния в развитии дистанционных методов в гидрогеологии и инженерной геологии показал, что наиболее применяемыми в настоящее время в практике являются космофото- и телевизионная съемки. Материалы этих съемок достаточно информативны для решения задач гидрогеологии и инженерной геологии. Что касается таких нефотографических методов дистанционной регистрации, как инфракрасная, радиолокационная и многоспектральные съемки, то они не вышли пока из стадии эксперимента и в настоящее время недоступны для использования их в практике.

Космические фото- и телевизионные снимки на современном этапе развития доступны для большинства проектных и производственных организаций. Отдельные организации уже используют их в практике. Однако методических разработок по вопросам дешифрирования космоснимков в гидрогеологических и инженерно-геологических целях пока не существует, что затрудняет внедрение аэрокосмических методов в практику. В связи с этим авторы в последующих главах основное внимание уделили теоретико-методическим основам интерпретации космофото- и телевизионных снимков и примерам их использования при решении различных задач гидрогеологии и инженерной геологии.

Часть II

ТЕОРЕТИКО- МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КОСМОФОТОСНИМКОВ

Глава 3

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДИКА АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

ПРИНЦИПЫ И ПРИЕМЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Отличительные особенности КФС — мелкомасштабность, обзорность и естественная генерализация изображений определяют специфику их дешифрирования. В отличие от других видов дешифрирования (структурно-геологического, геоморфологического, почвенно-ботанического, лесного и т. п.), гидрогеологическая и инженерно-геологическая интерпретация космофотоснимков так же, как и аэроснимков, является многоступенчатым индикационным процессом распознавания фотоизображений. При этом объекты индикации (подземные воды, гидрогеологические процессы их формирующие, горные породы и их свойства, экзогенные процессы) дешифрируются не прямо, а косвенно — через систему индикаторов, в качестве которых выступают физиономичные компоненты ландшафта, являющиеся при других вышеназванных видах специального дешифрирования объектами индикации.

По этой причине в процессе гидрогеологической и инженерно-геологической интерпретации космофотоснимков операторы-дешифровщики прибегают к различным чередующимся операциям по дешифрированию физиономичных компонентов ландшафта и индикационной диагностике его результатов.

Дешифрирование космических фотоснимков благодаря особенностям, отличающим их от материалов обычной аэрофото съемки, позволяет получить большую информацию об изучаемом

мых объектах как в качественном, так и в количественном отношении. При этом процесс дешифрирования космических снимков не исключает использования материалов аэрофотосъемки, а наоборот, опирается на них, особенно в тех случаях, когда необходимо выявить структуру природного явления, вещественный состав, морфологию и т. д.

В связи с этим дешифровочный процесс должен, с нашей точки зрения, рассматриваться как иерархически построенная система распознавания объектов, в основе которой лежит использование разномасштабных и разнотипных материалов. Это позволяет оператору-дешифровщику получать, с одной стороны, различную по объему информацию на различных этапах дешифрирования в зависимости от стоящих перед ним задач, а с другой стороны, детализировать получаемую информацию и наращивать ее объем по мере углубления дешифровочного процесса за счет сочетания разномасштабных снимков. Применение такого подхода к дешифрированию космических снимков позволяет в ряде случаев получать новую, ранее неизвестную информацию о региональных закономерностях гидрогеологических и инженерно-геологических условий, в некоторых случаях не совпадающую с теми представлениями, которые сложились до получения дешифровочных данных и считались общепринятыми. Однако такая информация может служить основанием для пересмотра существующих представлений только в том случае, если данные дешифрирования подтверждаются результатами наземных работ, основной целью которых должна явиться оценка достоверности результатов дешифрирования. Исходя из этого, дешифрирование космических снимков должно быть построено по принципу последовательного приближения таким образом, чтобы обеспечивалось постепенное наращивание информации, с одной стороны, о структуре ландшафта, а с другой — о конкретных взаимосвязях между его компонентами, принимающими участие в формировании ландшафтной структуры.

В соответствии с этим выделяется два вида последовательного приближения: масштабное и диагностическое.

Масштабное приближение определяется различным уровнем генерализации космических изображений, различиями в объеме получаемой при дешифрировании информации и, как следствие этого, — кругом решаемых гидрогеологических и инженерно-геологических задач. В настоящее время большинством исследователей выделяется четыре уровня генерализации космофотоизображения: глобальный, региональный, локальный и детальный [14, 25, 46, 67, 116], определяемых различным масштабом космических изображений.

Масштабное приближение осуществляется за счет анализа фотонизображения все более крупного масштаба (вначале изучение мелкомасштабных снимков, далее — среднемасштабных и т. д.). При этом возможен и другой путь масштабного при-

ближения: от более крупных масштабов к более мелким. В данном случае можно говорить о прямом и обратном масштабном приближении. Прямое масштабное приближение, т. е. постепенный переход при дешифрировании от мелких масштабов к более крупным, наиболее целесообразно при разработке системы индикаторов гидрогеологических и инженерно-геологических условий и дешифровочных признаков. Обратное масштабное приближение, в основе которого лежит переход от крупных масштабов к мелким, более перспективно при осуществлении экстраполяционных операций с ключевых участков на всю территорию исследований.

Оптимальный масштабный ряд аэрокосмических изображений варьирует в зависимости от детальности гидрогеологических и инженерно-геологических исследований. Как правило, в качестве основных рабочих материалов используются космоснимки, масштаб которых соответствует масштабу съемочных работ, а в качестве дополнительных материалов — аэро- и космоснимки более мелких и крупных масштабов, отличающихся от основного в 3—5 раз.

Диагностическое приближение осуществляется с целью наращивания сведений об индикаторах, объектах индикации и дешифровочных признаках. Элемент последовательности в наращивании этой информации заключается в построении работ по некоторой спирали. Создав известное представление о территории работ, исследователь как бы уклоняется от генерального пути дешифрирования и на некоторое время сосредотачивает внимание на наземных исследованиях. При этом для контроля дешифровочной информации и получения дополнительных данных о дешифровочных признаках и индикационных связях компонентов ландшафта используется широкий комплекс гидрогеологических и инженерно-геологических исследований. Получив в результате этих исследований некоторый запас индикационной и дешифровочной информации, исследователь возвращается к дешифрированию и ведет его до тех пор, пока не отпадут сомнения в правильности дешифрирования. Тогда повторяют тот же прием и осуществляют его последовательно необходимое число раз. Этим достигается, с одной стороны, более рациональное экономное использование времени, отведенного для работы, а с другой — более целенаправленный сбор информационных данных, которые необходимы для решения спорных моментов дешифрирования. Таким образом, можно считать, что основными принципами дешифрирования космических снимков для гидрогеологических и инженерно-геологических целей являются индикационный анализ и последовательное приближение (масштабное и диагностическое).

В процессе дешифрирования космических изображений кроме выполнения основных принципов необходимо руководствоваться рядом методических приемов, обеспечивающих более полное и

достоверное получение требуемой гидрогеологической и инженерно-геологической информации. Такими методическими приемами являются: анализ и синтез дешифровочной информации; индивидуальное и совещательное дешифрирование; сравнительное дешифрирование: комплексирование дешифрирования космических изображений с наземными исследованиями.

Некоторые из этих принципов в различной мере используются и при дешифрировании материалов аэрофотосъемки, однако мы хотим подчеркнуть их особо важное значение при интерпретации космических изображений в связи со спецификой гидрогеологического и инженерно-геологического дешифрирования.

Анализ и синтез дешифровочной информации являются взаимодополняющими и не исключаящими друг друга приемами индикационной диагностики при дешифрировании космических снимков. Они рассматриваются как две формы диалектического процесса познания, однако в зависимости от степени генерализации КФС и их масштабов роль анализа и синтеза меняется. Совершенно очевидно, что использование космических снимков масштабов 1:10 000 000 и мельче позволяет решать вопросы регионального районирования крупных территорий и типизации их по наиболее обобщенным параметрам гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки, как, например, по типу питания и разгрузки подземных вод, по роли дизъюнктивов в пространственном расположении артезианских бассейнов или инженерно-геологических формаций горных пород и т. д.

Космофотоснимки более крупных масштабов позволяют решать более детальный круг задач, например таких, как гидрогеологическое и инженерно-геологическое картирование средних масштабов, оценка питания грунтовых вод через зону аэрации, изучение закономерностей развития экзогенных геологических процессов и др. В соответствии с этим имеются различия и в методике дешифрирования разномасштабных космофотоснимков. При дешифрировании мелкомасштабных космофотоснимков, которые обладают высокой степенью генерализации и слабой разрешающей способностью, ландшафтно-индикационный анализ в той форме, в которой он применяется при дешифрировании аэрофотоснимков для решения задач гидрогеологии и инженерной геологии, малоинформативен.

На таких снимках особенности почвенно-растительного покрова как компонента ландшафта проявляются недостаточно четко, т. е. практически сводится на нет его «маскирующая роль», что позволяет говорить о «рентгеноскопичности» крупных геоструктурных комплексов регионального порядка [141].

При этом геоструктурные комплексы дешифрируются благодаря физиономичности их выражения в рельефе, за счет чего демаскирующий почвенно-растительный покров переходит в

группу объектов индикации, в то время как при дешифрировании АФС он является наряду с рельефом наиболее физиономичным индикатором. Роль основных индикаторов на данном уровне генерализации мы отводим морфосистемам согласно представлениям Ю. Г. Симонова. Под морфосистемами понимается комплекс экзогенных форм рельефа, созданный при определенных морфоструктурных и ландшафтно-климатических условиях [140]. Выделив типы морфосистем, возможно использовать их в качестве индикаторов гидрогеологических и инженерно-геологических условий. При этом обязательным условием является прямое выражение геологической структуры в рельефе. Например, при выделении эоловых морфосистем в аридных районах четко фиксируется развитие песчаных массивов в синклинальных прогибах. Индикационная интерпретация этих данных позволяет установить, что для этих морфосистем характерно развитие линз пресных вод с глубиной залегания грунтовых вод до 10 м, типы их питания через зону аэрации — инфильтрационный, десуктивный и смешанный. Аналогичным образом нетрудно выделить и охарактеризовать другие типы морфосистем — эрозионные, карстовые и др. Подводя итог вышесказанному, можно схематично представить процесс дешифрирования мелкомасштабных телевизионных и космических фотоснимков в виде схемы (табл. 4).

Таким образом, в данном случае ведущее значение принадлежит синтетическому подходу к анализу изображения, т. е. мы идем по пути выделения элементов морфосистем, последующего синтеза этих данных и индикационной интерпретации. При этом дешифрирование, как и в любом другом случае, опирается на анализ всей имеющейся информации об объектах исследований, на основе которого разрабатывается диагностический аппарат, состоящий из алфавита распознаваемых объектов и списка характерных для них признаков [124].

При дешифрировании космофотоснимков более крупных масштабов (1 : 1 000 000 и крупнее), обладающих более высокой разрешающей способностью, роль ландшафтно-индикационного подхода (в классическом его понимании) неизмеримо возрастает в связи с тем, что особенности почвенно-растительного покрова достаточно четко проявляются на таких снимках. Ландшафтные индикаторы в этом случае достаточно информативны при использовании их на уровне эктоярусов сложных урочищ. Наряду с этим сохраняется важное значение морфосистем. Выявление ландшафтных взаимосвязей осуществляется путем аналитического дешифрирования по компонентам ландшафта. По результатам аналитического дешифрирования составляются ландшафтно-индикационная и структурно-тектоническая схемы, являющиеся основой для интерпретации данных дешифрирования в гидрогеологических и инженерно-геологических целях. В соответствии с этим данный подход к дешифрированию можно

Таблица 4

Блок-схема синтетического (морфосистемного) подхода к дешифрированию космofотоснимков для целей гидрогеологии и инженерной геологии



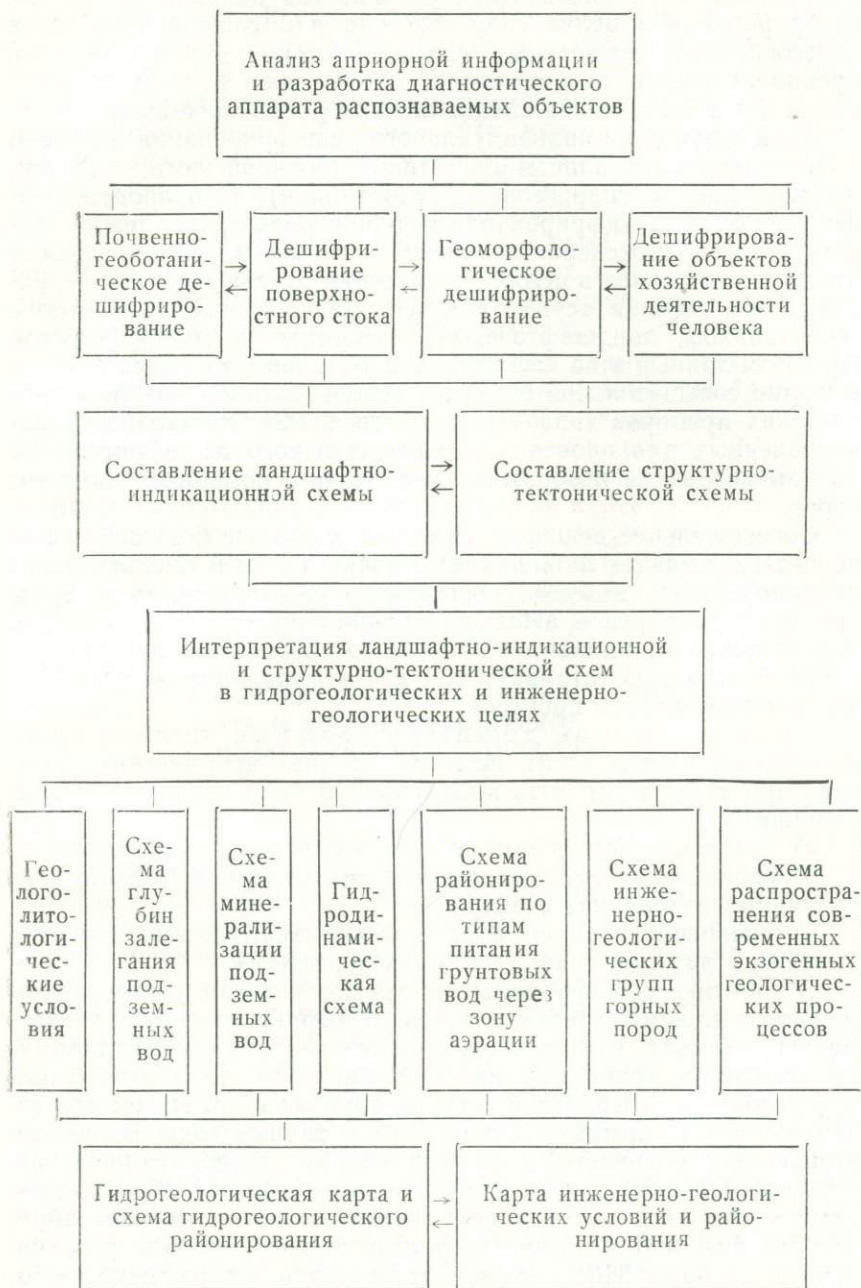
назвать аналитическим, поскольку он представляет собой систему последовательно сменяющих друг друга операций, что схематично показано в табл. 5.

В процессе индикационной интерпретации результатов дешифрирования, в свою очередь, также можно выделить две последовательно сменяющие одна другую операции по анализу и синтезу полученной информации. Так, например, интерпретация результатов дешифрирования космofотоснимков для целей гидрогеологии осуществляется следующим образом. В начале составляется серия карт-схем отдельных элементов гидрогеологической обстановки: глубин залегания подземных вод, минерализации, гидродинамики, типов питания грунтовых вод через зону аэрации, обводненности разрывных нарушений. Следующей операцией является синтез полученных аналитических данных в единую общую гидрогеологическую карту. Аналогично осуществляется и инженерно-геологическая интерпретация результатов дешифрирования, т. е. составляется серия аналитических карт-схем по каждому элементу инженерно-геологической обстановки, с последующим синтезом их в виде карты инженерно-геологических условий и районирования. Существенные различия при дешифрировании разномасштабных космofотоснимков возникают и при определении дешифровочных признаков распознаваемых объектов. Так, при дешифрировании мелкомасштабных снимков ведущую роль играют тональные особенности фотоизображений и конфигурация объектов; роль структуры фотоизображения практически сводится к нулю. При дешифрировании космofотоснимков более крупных масштабов значение структуры фотоизображения как дешифровочного признака возрастает. При этом роль тональных особенностей изображения имеет уже подчиненное значение.

Рассмотренные выше особенности аналитического и синтетического подходов к дешифрированию обуславливают применение на разных этапах дешифровочного процесса приемов индивидуального и совещательного дешифрирования. Дешифрирование космических снимков для целей гидрогеологии и инженерной геологии опирается на анализ ландшафтной структуры региона, т. е. оно рассматривается в данном случае как многоотраслевой процесс, в котором принимают участие специалисты различного профиля: геоботаники, геоморфологи, ландшафтоведы, геологи, гидрогеологи, инженеры-геологи. При аналитическом дешифрировании космических снимков в соответствии с табл. 5 целесообразно проведение индивидуального дешифрирования, основанного на том, что оператор-дешифровщик, являющийся специалистом какого-либо одного профиля, например геоботаником, осуществляет геоботаническое дешифрирование, опираясь при этом лишь на разработанный им в процессе изучения априорной информации диагностический аппарат распознаваемых объектов, на собственный опыт и интуи-

Таблица 5

Блок-схема процесса гидрогеологической и инженерно-геологической интерпретации космодатоснимков



цию. Аналогичным образом осуществляются все остальные виды аналитического дешифрирования. В дальнейшем, при переходе к индикационной диагностике результатов аналитического дешифрирования в целях гидрогеологии и инженерной геологии целесообразно проведение совещательного дешифрирования, предполагающего одновременно совместное дешифрирование одних и тех же снимков специалистами различного профиля.

Если в процессе индивидуального дешифрирования ведущую роль играют специалисты-аналитики (геоморфологи, геологи, ландшафтоведы, гидрогеологи, геоботаники), то в процессе совещательного дешифрирования ведущая роль принадлежит гидрогеологам и инженерам-геологам. Например, интерпретация аналитических карт в целях определения глубин залегания грунтовых вод должна осуществляться гидрогеологом совместно с геоботаником, ландшафтоведом, геологом и геоморфологом. При этом данный этап дешифровочного процесса осуществляется в форме совещательной беседы с использованием новейших оптических приборов типа «Интерпретоскоп-2», специально предназначенных для проведения совещательного дешифрирования или высвечивания изображения на экран с помощью диапроекторов.

Совещательное дешифрирование позволяет с большей достоверностью выявить ландшафтные взаимосвязи и оценить индикационную роль каждого конкретного компонента. Роль субъективных факторов в дешифрировании при этом уменьшается. Таким образом, индивидуальное и совещательное дешифрирование можно рассматривать как две взаимодополняющие формы дешифровочного процесса.

Сравнительное дешифрирование является одним из важных методических приемов анализа космических снимков. При этом могут быть выделены три вида такого дешифрирования:

- а) сравнение космоснимков, полученных в разное время;
- б) сравнение космоснимков, полученных одновременно, но в различных интервалах спектра;
- в) сравнение космоснимков с мелкомасштабными картами, схемами и другими графическими материалами.

В практике дешифрирования аэрофотоснимков успешно применяются приемы сравнительного дешифрирования разновременных снимков, что представляет интерес для оценки динамики некоторых природных явлений, например ряда экзогенных процессов: оползней, селей, эрозии, абразии и др. Путем стереоизмерений по снимкам, полученным в разные годы, возможно выявление особенностей динамики этих процессов, что представляет собой основу для их прогнозирования. Целесообразно применять для этих целей и космические снимки, главным образом телевизионные, поскольку телевизионные системы, установленные на борту ИСЗ, позволяют получать изображение любо-

го объекта Земли несколько раз в сутки. По ТВ-снимкам можно проследить динамику тех природных процессов, режим и механизм которых связан с атмосферными аномалиями, например селей, лавин. В связи с тем что в настоящее время начинается внедряться многозональная космическая съемка (одновременная съемка в различных интервалах спектра), большое значение приобретает также сравнительное дешифрирование материалов многозональной съемки. Это позволяет, с одной стороны, определить наиболее информативную зону спектра для решения конкретных задач гидрогеологии и инженерной геологии, а с другой — более точно и детально осуществить контурное дешифрирование их индикаторов. Кроме этого, сравнительное дешифрирование снимков в различных зонах спектра позволяет получить качественно новую информацию, что невозможно с использованием однозональных снимков.

Исходя из особенностей космических снимков, связанных с высокой степенью обзорности и генерализации изображения, большое значение для выявления и познания объекта имеет сопоставление космических снимков с имеющимися обзорными мелкомасштабными топографическими, геологическими, тектоническими, гидрогеологическими и другими картами, а также геофизическими данными магнитной, гравиметрической и других видов съемок. Большую пользу могут оказать региональные атласы специальных гидрогеологических, инженерно-геологических и других карт, составляемые на крупные регионы.

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ДЕШИФРИРОВАНИЯ АЭРО- И КОСМОФОТОСНИМКОВ С НАЗЕМНЫМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ

Несмотря на большой объем информации, получаемой с помощью космофотоснимков, она носит субъективный характер и требует уточнения, подтверждения и оценки достоверности. В связи с этим большую роль приобретают методы наземного обоснования, с помощью которых можно установить взаимосвязь между индикаторами и дешифровочными признаками, физическими параметрами изучаемых объектов и их изображений. В комплекс методов наземного обоснования входят: ландшафтно-индикационные исследования с полевым дешифрированием материалов АФС, радионуклидные экспресс-методы определения влажности и плотности горных пород, отбор проб грунтов и подземных вод для лабораторных определений, а также опытные полевые работы по изучению процессов влагопереноса в зоне аэрации, определение фильтрационных особенностей пород и др. Работы по наземному обоснованию осуществляются при помощи двух методических приемов: комплексного профилирования и площадных работ на ключевых участках.

Комплексное профилирование — методический прием изучения гидрогеологических и инженерно-геологических условий по характерным профилям, ориентированным в соответствии с направлением изменчивости основных закономерностей: строения складчатых тектонических структур, литологии и свойств горных пород, развития экзогенных процессов и формирования подземных вод. В общем виде эти закономерности отражаются в морфологии ландшафтов, что позволяет изучать гидрогеологические и инженерно-геологические условия путем выявления их индикационных связей с физиономическими компонентами ландшафта. Различаются два типа комплексного профилирования — региональное и локальное.

Региональное комплексное профилирование проводится по главным направлениям изменчивости гидрогеологических и инженерно-геологических условий. Изучаются все основные группы и типы ландшафта с учетом их зональных особенностей. Этот вид профилирования осуществляется в масштабах 1 : 100 000 — 1 : 200 000. В подготовительный этап на основе анализа имеющихся материалов составляется предварительный региональный геолого-гидрогеологический разрез. На разрез наносятся данные гидрогеологических исследований об уровнях грунтовых вод и их химизме. В процессе полевых работ по линии заданного профиля выполняется полевое дешифрирование высотных и средне-масштабных аэрофотоснимков с целью проверки результатов камерального дешифрирования космических снимков, уточнения и корректировки выявленных индикаторов и дешифровочных признаков и оценки их достоверности. Кроме того, экспериментально определяются параметрические данные о влажности, плотности пород верхней части разреза, химическом составе подземных вод, отбираются пробы для анализов гранулометрического состава пород и их свойств: пластичности, объемной массы, засоленности. Плотность и влажность пород устанавливаются экспресс-методом с помощью радиоизотопных определений [152].

Профилирование проводится в процессе маршрутных исследований способом дискретных точечных определений, количество и местоположение которых зависят от конкретных ландшафтно-геологических условий и детальности работ. Все виды исследований, начиная с дешифрирования и кончая отбором проб, выполняются комплексно в каждой дискретной точке с ландшафтно-индикационными описаниями по профилю.

Локальное комплексное профилирование осуществляется на узловых отрезках регионального профиля и на ключевых участках. Если при региональном профилировании можно выявить и оценить комплексные индикаторы гидрогеологических и инженерно-геологических условий в пределах эктоярусов — сложных урочищ, типов местности и ландшафта, то в процессе локального профилирования появляется возможность установить частные индикаторы — геоморфологические, геоботанические, почвен-

ные и комплексные — эктоярусы фаций и простых урочищ. При локальном профилировании возможна индикация деталей гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки: участков разгрузки грунтовых вод, типов разгрузки, характера активности проявлений экзогенных процессов, глубины залегания первого от поверхности водоносного горизонта, процессов влагопереноса в зоне аэрации и т. д. Локальное профилирование ведется в масштабах 1 : 10 000—1 : 25 000 способом непрерывно-дискретных исследований. В процессе локального комплексного профилирования проводятся электро- и сейсморазведка, а также опытные работы по определению процессов влагопереноса в зоне аэрации по методике В. Н. Чубарова [164].

Ключевые участки для исследований выбираются на основе обобщения имеющихся материалов, аэровизуальных наблюдений и результатов комплексного профилирования. При выборе местоположения, количества и размеров ключевых участков необходимо руководствоваться принципами типичности, комплексности и методического единства работ [137, 139].

Число, размеры и форма ключевых участков устанавливаются исходя из анализа космофотоизображений с учетом сложности гидрогеологических и инженерно-геологических условий. При выборе ключевых участков следует учитывать и принцип экономичности, предусматривающий решение гидрогеологических и инженерно-геологических задач с минимальными материальными и временными затратами. При исследованиях на ключевых участках должен быть проведен более широкий комплекс исследований, чем при осуществлении комплексного профилирования, причем с большей детальностью, с тем, чтобы в ходе работ собрать предварительный материал на всю площадь ключевых участков.

СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА РАБОТ

Применение аэрокосмических методов при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях требует соблюдения определенных условий, организации и порядка проведения работ.

Перед проведением дешифрирования материалов космодетекции необходимо осуществить сбор и изучение всех имеющихся материалов о природных условиях района исследований. При этом важно не только получить представление о природных условиях, но и выявить наиболее общие взаимосвязи между физико-географическими компонентами ландшафта и элементами гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки. На основе обобщения материалов производится типизация индикаторов и разработка диагностического аппарата распознаваемых объектов.

Камеральное дешифрирование проводится до начала полевых работ. При этом наиболее целесообразно его начать с мелкомасштабных снимков, по которым выявляются общие региональные закономерности гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки, а затем перейти к дешифрированию снимков более крупных масштабов. По результатам камерального дешифрирования составляется серия предварительных карт-схем, позволяющих осуществить инженерно-геологическое и гидрогеологическое районирование территории исследований, что является основой для выбора направлений регионального профилирования и ключевых участков.

Полевые работы целесообразно начинать с производства аэровизуальных наблюдений, в процессе которых уточняются границы таксонов районирования, направление комплексных региональных профилей, местоположение, количество и размеры ключевых участков. Помимо этого уточняются диагностический аппарат распознаваемых объектов и системы их индикаторов. Вторым этапом полевых работ является региональное комплексное профилирование, основная цель которого — выявление конкретных индикаторов и дешифровочных признаков элементов гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки по направлениям их региональной изменчивости. В процессе комплексного профилирования намечаются линии локальных профилей для получения более детальных данных на сложных в гидрогеологическом и инженерно-геологическом отношении участках региональных профилей. Следующим этапом наземных исследований являются работы на ключевых участках. В процессе этих работ осуществляется полевое дешифрирование материалов высотной аэрофотосъемки, проводятся детальные ландшафтно-индикационные, горно-буровые и опытные работы с отбором проб для определения физико-механических и водно-физических свойств грунтов и химического состава подземных вод. По результатам работ на ключевых участках окончательно разрабатывается система индикаторов и дешифровочных признаков элементов гидрогеологических и инженерно-геологических условий.

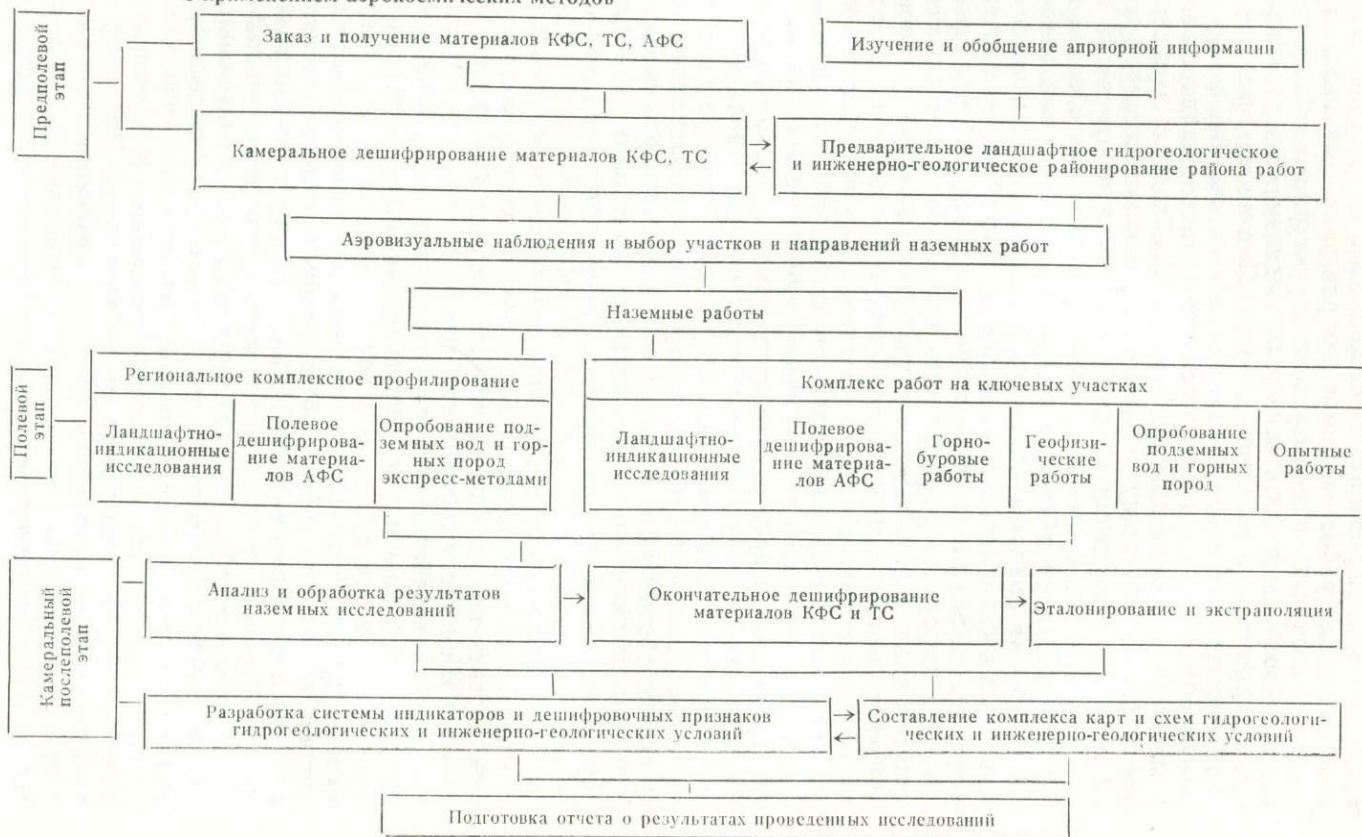
Завершающим этапом является камеральная обработка результатов наземных исследований и окончательное камеральное дешифрирование космофотоснимков, в ходе которого осуществляется экстраполяция данных, полученных при наземных исследованиях, на ландшафты-аналоги. Эти данные используются для составления комплекса окончательных гидрогеологических и инженерно-геологических карт, представляющих собой основной документальный материал проведенных исследований. Помимо карт целесообразно составление таблиц — каталогов индикаторов и дешифровочных признаков элементов гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки, сопровождающихся аннотированными фотоснимками, подобранными по

принципу эталонирования. В общем виде структурно-технологическая схема работ, описание которой приведено выше, представлена в табл. 6. Рассмотренная структурно-технологическая схема работ может быть несколько видоизменена в зависимости от характера и назначения работ. При проведении опытно-методических исследований на космогеологических полигонах, основной целью которых является опробование различных видов и масштабов космических фотосъемок, необходимо осуществление работ по принципу синхронности, заключающемуся в параллельном проведении космического фотографирования, подспутникового эксперимента и работ по наземному обоснованию [25, 139]. Причем в комплекс работ подспутникового эксперимента входит главным образом дистанционное получение информации о физических параметрах горных пород и подземных вод с помощью приемников, устанавливаемых на борту самолетов. Эта информация может быть получена с помощью многоспектральных систем. Целью подспутниковых экспериментов является решение в первую очередь теоретических вопросов космической съемки: изучение передаточных функций атмосферы для различных спектральных интервалов; изучение спектральной, геометрической и тематической генерализации КФС; изучение временных и пространственных функций распределения отражательных и излучательных характеристик различных объектов Земли [25]. Параллельное проведение работ по собственно космической фотосъемке, дистанционному и наземному обоснованию обеспечит не только разработку дешифровочных признаков и индикаторов распознаваемых объектов, но и позволит осуществить наиболее объективную оценку достоверности полученной информации.

Опыт, полученный при проведении исследований на космогеологических полигонах, целесообразно распространять на районы перспективного хозяйственного освоения — ландшафтные аналоги космогеологических полигонов при решении региональных народнохозяйственных проблем. При этом за основу методики работ можно принять приведенную выше схему, но следует внести в нее поправки в зависимости от цели работ. Например, при проведении исследований для целей мелиорации в состав работ по наземному обоснованию результатов дешифрирования необходимо включить работы по определению фильтрационных свойств грунтов, а при проведении исследований для целей проектирования гражданских и промышленных сооружений в районах распространения рыхлых пород целесообразно включение методов пенетрационного каротажа.

Необходимо также несколько видоизменять и дополнять методику работ в зависимости от их характера. Например, при проведении исследований на линейных изысканиях (проектирование трубопроводов и транспортных магистралей) в общей методике работ изменится соотношение комплексного профилиро-

Таблица 6
 Общая структурно-технологическая схема гидрогеологических и инженерно-геологических исследований с применением аэрокосмических методов



вания и ключевых участков. Большую часть полевых работ целесообразно в данном случае осуществить методом комплексного профилирования, правильно сочетая региональное и локальное профилирование. Локальные комплексные профили в данном случае могут с успехом заменить работы на ключевых участках, но при этом они должны иметь более густую сеть.

Структурно-технологическая схема может также несколько видоизменяться в зависимости от природных условий районов работ, однако основные ее этапы, их содержание и соотношение остаются общими.

Глава 4

ВОЗМОЖНОСТИ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ КОСМОФОТОСЪЕМКИ ПРИ РЕШЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ЗАДАЧ ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Согласно специфике гидрогеологического и инженерно-геологического дешифрирования, рассмотренной в предыдущей главе, процесс интерпретации КФС разделяется на три основных этапа: аналитическое дешифрирование компонентов ландшафта, определяющих характер фотоизображений, разработку синтетических индикационных схем и специальную их интерпретацию в гидрогеологических и инженерно-геологических целях. В соответствии с этим рассмотрим возможности и методические особенности использования КФС на всех трех этапах дешифровочного процесса.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ КОСМОФОТОСНИМКОВ

На данном этапе осуществляется тематическая интерпретация КФС специалистами узкого профиля по конкретным компонентам ландшафта (гидросеть и поверхностный сток, рельеф, растительность, объекты хозяйственной деятельности человека).

Гидрографическая сеть и поверхностный сток

Дешифрирование гидрографической сети и поверхностного стока является первичным звеном в процессе гидрогеологической и инженерно-геологической интерпретации КФС, поскольку

связь между водными объектами, рельефом, геологическим строением и в конечном итоге гидрогеологией наиболее отчетливо проявляется в рисунке и характере гидрографической сети. В связи с этим важно установить тип гидрографической сети и его роль в формировании поверхностного стока. При этом наиболее физиономичным показателем этих категорий на КФС является рисунок гидрографической сети, для характеристики которого наиболее приемлема классификация Р. Е. Хортона [159]. Рисунок гидрографической сети является достоверным индикатором типа и интенсивности поверхностного стока, состава пород, морфологии и генезиса современного рельефа, тектоники и неотектоники.

Изучая рисунок гидросети, необходимо определить, к какому типу он относится: древовидному (дендритовидному), перистому, решетчатому, параллельному, радиальному, центростремительному, смешанному [159]. Анализ плана гидрографической сети позволяет выявить системы трещиноватости, зоны глубинных разломов, элементы складчатых структур, связь долин с элементами экзогенного морфогенеза. Для получения всесторонней характеристики гидрографической сети целесообразно применение количественных морфометрических показателей густоты, ориентировки, степени интеграции, угловатости и т. д. [89]. Необходимо также классифицировать водотоки по глубине эрозионного вреза, что является достоверным показателем интенсивности поверхностного стока.

Опыт использования космических снимков при гидрографическом дешифрировании [134, 135] показал, что особенности гидросети наиболее четко прослеживаются на снимках регионального и локального уровней генерализации. При этом КФС позволяют получать информацию для оценки характера водосборов, русловой деятельности рек и водному режиму рек и озер.

При характеристике водосборов КФС, главным образом по тональным особенностям, позволяют фиксировать границы водораздельных пространств и водосборных бассейнов, осуществлять их типизацию по площади и конфигурации. При изучении русловой деятельности рек КФС позволяют устанавливать общее направление поверхностного стока, типы водных потоков по их форме, извилистости, характеру эрозионного вреза.

Водный режим рек можно охарактеризовать, выделяя среди них постоянные водные потоки, временные водотоки, пересыхающие реки с выработанным руслом, плесы, перекаты, рукава, протоки и старицы; в отдельных случаях возможно дешифрирование морфологических элементов долин. С помощью материалов космофотосъемки может быть осуществлено распознавание и типизация базисов эрозии, что позволяет охарактеризовать особенности аккумуляции поверхностных вод. Например, легко распознаются на снимках озера, солончаки, такры и т. п. При

дешифрировании озер четко выделяются озера с постоянным зеркалом воды, с переменным зеркалом воды, пересыхающие озера. Возможно также выявление их глубины и характера за-растания дна [135].

Анализируя получаемые при дешифрировании данные о направлении движения поверхностного стока русловой деятельности рек и водном режиме потоков, можно сделать выводы о характере поверхностного стока в изучаемом регионе и получить необходимые данные для расчетов формирования поверхностного стока и даже его прогноза [64, 65]. Рассмотренные выше параметры гидрографической сети в комплексе являются индикаторами гидрогеологических и инженерно-геологических условий. Анализируя по КФС общее направление поверхностного стока и характер гидрографической сети, можно установить области питания, транзита и разгрузки грунтовых вод, глубины их залегания, выявить участки распространения различных типов экзогенных процессов, особенности неотектоники, литологию и генезис горных пород.

Рельеф

Распознавание рельефа на КФС при решении гидрогеологических и инженерно-геологических задач наиболее важный этап в процессе аналитического дешифрирования. Рельеф, с одной стороны, выступает как индикатор некоторых гидрогеологических и инженерно-геологических условий, а с другой — является одним из этих условий. Помимо этого рельеф выступает в некоторых случаях в качестве индикатора растительности (при дешифрировании мелкомасштабных КФС), литологии и генезиса горных пород.

Возможности геоморфологического дешифрирования определяются уровнем генерализации используемых КФС. На глобальном уровне КФС позволяют выявлять элементы геотектуры и крупные морфоструктуры I порядка (по И. П. Герасимову) — материковые выступы, океанические впадины, крупные горные системы, равнинные страны, крупнейшие линеаменты, связанные с дизъюнктивной тектоникой, морфоструктуры II порядка — плато, равнины, горные хребты, межгорные впадины и т. д. На этом уровне генерализации КФС возможно использование результатов геоморфологического дешифрирования для уточнения схем мелкомасштабного гидрогеологического и инженерно-геологического районирования. Для решения конкретных задач гидрогеологии и инженерной геологии данный уровень генерализации КФС мало полезен.

Более информативны с этой точки зрения снимки регионального уровня генерализации, позволяющие дешифрировать морфоструктуры III порядка (увалы, гряды, котловины, бессточные впадины и т. д.), а также их элементы (сводовые части по-

ложительных структур, их крылья, флексуобразные перегибы, днища и борта отрицательных структур). На таких снимках отчетливо устанавливается связь морфоструктур с генетическими типами экзогенных процессов, формирующих определенные типы морфоскульптуры. В большинстве случаев экзогенные формы рельефа можно рассматривать в качестве индикаторов морфоструктур и их элементов. Это особенно важно при выявлении инверсии рельефа. Информация, получаемая на данном уровне генерализации, может быть использована при типизации экзогенных процессов и для индикации гидрогеологических условий, в частности, для оценки гидродинамики подземных вод, при гидрогеологическом и инженерно-геологическом картировании в мелких и средних масштабах (рис. 5).

КФС локального уровня генерализации с точки зрения геоморфологического дешифрирования в гидрогеологических и инженерно-геологических целях наиболее информативны. Они позволяют выявлять все основные типы морфоскульптуры (денудационные, эрозионные, флювиальные, гравитационные, аккумулятивные, карстовые, озовые и т. д.) и их элементы. На этом уровне генерализации возможно получение всей необходимой информации для выявления связи особенностей распространения всех генетических групп экзогенных процессов, их морфологического выражения, экспозиции склонов, густоты и глубины эрозионного расчленения территории, определения возрастных генераций различных форм рельефа и т. д. С помощью этих данных возможно решение ряда задач гидрогеологии, в частности, выявления областей питания, транзита и разгрузки подземных вод, изучения процессов влагопереноса в зоне аэрации, оценки взаимосвязи поверхностных и подземных вод. При инженерно-геологических исследованиях результаты геоморфологического дешифрирования могут быть интерпретированы при выделении геолого-генетических комплексов пород, их мощности и возраста, особенностей их литологического состава, трещиноватости пород, а также закономерностей развития экзогенных процессов.

Методически геоморфологическое дешифрирование осуществляется как прямым образом, путем использования дешифровочных признаков, обусловленных особенностями фотоизображений, так и с помощью индикаторов, в качестве которых может выступать гидрографическая сеть. Поскольку космический снимок является сильно генерализованной моделью местности, на которой в отличие от аэрофотоснимков отображены лишь те особенности морфографии рельефа, которые в большей части определяются тектонической структурой (главным образом это связано с горными районами), то геоморфологическое дешифрирование целесообразно осуществлять с точки зрения выявления взаимосвязи морфоскульптуры и морфоструктуры. Именно эти взаимосвязи в большинстве случаев обуславливают закономер-

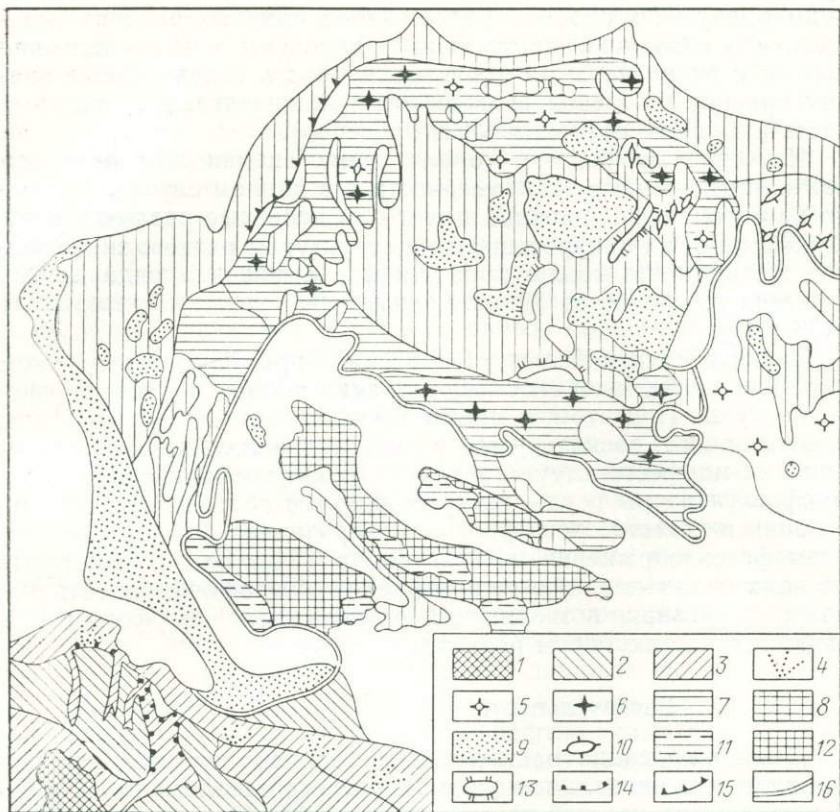


Рис. 5. Геоморфологическая схема полуострова Бузачи. Составлена по КФС регионального уровня генерализации с ПКК «Союз-12». По М. И. Бурлешину.

Денудационный рельеф: 1 — сильнорасчлененный рельеф низких гор, 2 — слабо расчлененный куэстовый рельеф предгорий.

Эрозионно-аккумулятивный рельеф: 3 — слабо расчлененный рельеф подгорных равнин; 4 — то же, с широким развитием пролювиальных шлейфов.

Дефлюкционно-аккумулятивный рельеф: 5 — пологоволнистые равнины с многочисленными останцовыми буграми; 6 — почти нерасчлененные пологие равнины; 7 — пологие равнины с многочисленными плохо выраженными в рельефе буграми и мелкими пухлыми солончаками; 8 — пологие равнины с многочисленными мелкими пухлыми солончаками. Солончаки: 9 — пухлые; 10 — мокрые, периодически заливаемые водой; 11 — с многочисленными останцами. Песчаные массивы: 12 — с грядово-барханным рельефом; 13 — с грядово-ячеистым рельефом. Прочие обозначения: 14 — крупные останцы; 15 — обрывы коренных пород; 16 — абразионные обрывы. Незаштрихованные контуры — участки распространения хвалынской трансгрессии

ности формирования гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки крупных регионов.

Однако не всегда рельеф может являться прямым индикатором тектонической структуры. В природе распространены случаи инверсии рельефа, т. е. несовпадения рельефа и структуры. Детальное изучение морфоскульптурных особенностей может помочь в правильной интерпретации морфотектоники. На-

пример, изучение процессов засоления в аридных районах показало, что солончаки могут быть приурочены и к положительным, и к отрицательным структурам (часть солончаковых впадин приурочена к сводовым частям положительных структур, а часть к днищам синклинальных прогибов).

Изучение морфологии солончаковых впадин позволяет выявить определенные закономерности и в данном случае. Морфология солончаковых впадин имеет определенные различия в зависимости от их приуроченности к структурам разного знака. Такие же примеры можно привести и в отношении ряда других экзогенных процессов (карста, оползней, такырообразования) [103, 131].

В связи с этим большое значение при морфоструктурном изучении материалов космодатасъемки имеет анализ морфоскульптуры. При этом, с нашей точки зрения, он должен быть опережающим, поскольку его результаты используются для индикации морфоструктурного плана. Дешифрирование элементов морфоскульптуры осуществляется прямым образом при использовании в качестве дешифровочных признаков фототона, структуры фотоизображения, конфигурации объектов. В некоторых случаях индикационную роль играет гидрографическая сеть как важный признак, позволяющий осуществлять морфогенетическую диагностику форм рельефа.

Растительность

Дешифрирование растительного покрова дает возможность выявлять его индикационную роль при гидрогеологической и инженерно-геологической интерпретации КФС. Использование растительности в качестве индикатора состава поверхностных отложений, глубины залегания уровня грунтовых вод, характера их минерализации, процессов влагопереноса в зоне аэрации и интенсивности развития некоторых экзогенных процессов обосновано в работах С. В. Викторова, Е. А. Востоковой, Д. Д. Вышивкина и ряда других исследователей [1, 3, 17, 18, 19, 22, 23, 32, 33, 34].

Растительный покров весьма тесно связан с климатическими, почвенными, геоморфологическими и геолого-гидрогеологическими условиями, в связи с этим при дешифрировании аэрофотоснимков он выступает в качестве индикатора — как один из наиболее физиономичных компонентов ландшафта.

При дешифрировании КФС геоботаническая индикация не всегда может дать положительные результаты. При анализе снимков глобального и частично регионального уровней генерализации (снимки мельче 1 : 3 000 000) почвенно-растительный покров вследствие высокой степени генерализации «демаскируется». При дешифрировании снимков в масштабах регионального уровня генерализации использование геоботанических индика-

торов в полном объеме также невозможно. Растительность в данном случае участвует в формировании тона и структуры фотозображения, но дифференцированно на снимках не отражается. Однако растительные комплексы на уровнях групп формаций (например, сосновые леса, степные кустарники) и классов ассоциаций (осоковые болота, саксауловые рощи) находят специфическое выражение. При этом комплексное использование растительности и рельефа на данном уровне генерализации позволяет индцировать области распространения основных типов формаций горных пород, региональные гидродинамические области (питания, транзита, разгрузки подземных вод), участки интенсивного развития ряда экзогенных процессов (криогенных, гравитационных, заболачивания, засоления и др.). Самостоятельного значения в качестве индикатора растительность на данном уровне генерализации КФС не имеет.

При дешифрировании КФС локального уровня генерализации роль растительного покрова как индикатора неизмеримо возрастает. Отчетливое отображение получают на таких снимках комплексы растительных сообществ. В качестве объектов индикации на КФС локального уровня генерализации выступают характер грунтовых вод, глубины их залегания, степень минерализации, региональные и локальные гидродинамические области, литологический состав четвертичных отложений, экзогенные процессы и даже степень их активности и динамичности.

Растительность как индикатор гидрогеологических условий может использоваться во всех ландшафтно-климатических зонах, но эффективность ее индикационного значения при этом будет различна. Наиболее эффективно использование геоботанической индикации в аридной зоне, причем главным образом при гидроиндикационных исследованиях [32, 33]. Дефицит влаги в этих районах обуславливает при общем разреженном характере растительного покрова широкое распространение влаголюбивых растений — фреатофитов, использующих для жизнедеятельности главным образом грунтовые воды. В пустынях благодаря резким цветовым и тональным контрастам участки локализации растительного покрова или же пространственной смены различных растительных комплексов отчетливо отражаются на КФС.

При индикации инженерно-геологических условий растительный покров позволяет интерпретировать КФС с точки зрения выявления в основном литологического состава пород и экзогенных процессов в различных природных зонах. Так, например, в зоне развития многолетнемерзлых пород типы тундр являются достоверным индикатором глубины залегания многолетнемерзлых толщ, в аридной зоне с помощью геоботанических индикаторов устанавливается динамика процессов засоления, степень активности эоловых процессов [17, 21, 34].

Несмотря на некоторый эффект геоботанической индикации по материалам космofотосъемки возможности ее значительно

ограничены. Если по АФС реальна индикация деталей гидрогеологических и инженерно-геологических условий за счет использования в качестве индикаторов отдельных растительных сообществ и их элементарных комплексов, то на КФС эти детали генерализуются и их распознать можно только привлекая данные по рельефу, литологии отложений, геохимии, полученные с помощью наземных исследований и АФС.

Наиболее перспективно проведение тематического дешифрирования растительности при исследованиях в аридных районах. Геоботанические карты, составляемые по материалам космодетекции, в некоторых случаях позволяют устанавливать местонахождение месторождений грунтовых вод, индцировать разломы земной коры и осуществлять оценку их обводненности.

Вместе с тем данные геоботанического дешифрирования наряду с результатами других видов аналитической интерпретации КФС служат исходным материалом для разработки синтетических индикационных схем, основанных на комплексном учете и взаимосвязи ряда факторов. Поэтому результаты дешифрирования растительности необходимо рассматривать в качестве вспомогательного материала.

Объекты хозяйственной деятельности человека

Хозяйственная деятельность человека по преобразованию природы создает своеобразные антропогенные ландшафты. Часто они имеют индикационное значение при гидрогеологической и инженерно-геологической интерпретации КФС. Среди этих объектов важную роль играют гидротехнические, транспортные и мелиоративные сооружения, открытая добыча полезных ископаемых, сельскохозяйственные угодья и т. п. Эти объекты, если рассматривать их в отдельности, дают сравнительно небольшую информацию о гидрогеологических и инженерно-геологических условиях, однако их комплексное использование позволяет выявить некоторые закономерности гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки [89].

Е. А. Востокова по характеру влияния антропогенных изменений гидрогеологических условий разделяет их условно на две группы — улучшающие гидрогеологические и инженерно-геологические условия и ухудшающие их [35]. К первой группе отнесены случайные нарушения почвенно-растительного покрова, вызванные избыточной техногенной нагрузкой, что способствует улучшению условий инфильтрации атмосферных осадков и питанию подпесчаных линз пресных вод в пустынях. К этой же группе Е. А. Востоковой отнесены и специальные направленные изменения ландшафта, улучшающие гидрогеологические условия (например, сооружение котлованов для искусственного магазинирования). Изменения, относимые ко второй группе, ин-

тенсивны и неожиданны. К ним относятся сооружения водохранилищ, ирригационных систем, транспортных магистралей и т. п. Сооружение этих объектов приводит к резкому нарушению динамического равновесия в природной среде и часто вызывает ухудшение гидрогеологических и инженерно-геологических условий (изменение уровней грунтовых вод, их химического состава и минерализации, активизации экзогенных геологических процессов).

Анализ АФС и КФС с точки зрения обнаружения, классификации и картирования объектов хозяйственной деятельности человека позволяет выявлять некоторые особенности гидрогеологических и инженерно-геологических условий, являющиеся основой для прогнозной оценки их изменений в результате антропогенного воздействия. Примеры таких исследований приводятся в работах С. В. Викторова [18, 21], Е. А. Востоковой [34, 35], А. В. Садова, А. Л. Ревзона и Ф. Н. Чалидзе [132]. На рис. 6 приведены результаты дешифрирования снимка с ИСЗ ЕРТС, осуществленного в ландшафтно-мелиоративных целях в зоне Каракумского канала.

Значение объектов хозяйственной деятельности человека как индикаторов возрастает в районах интенсивного хозяйственного освоения, поскольку в них практически уничтожен естественный растительный покров, изменен первичный рельеф территорий,

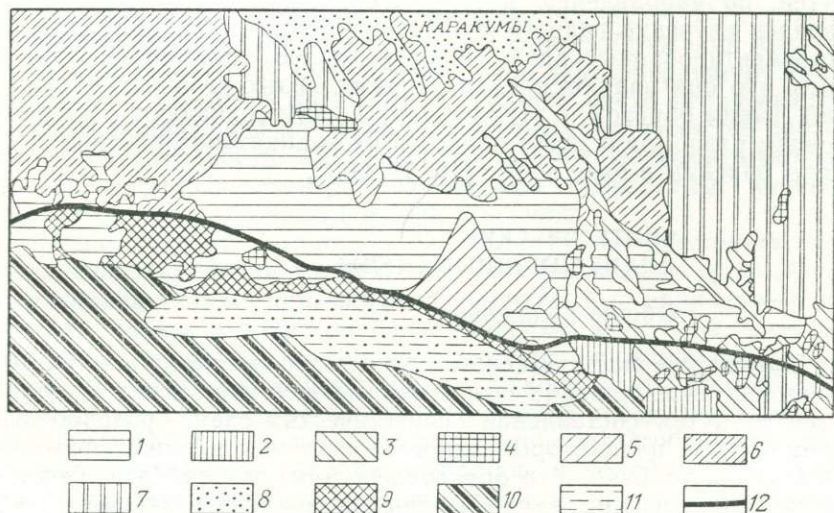


Рис. 6. Схема ландшафтно-мелиоративного дешифрирования снимка с ИСЗ ЕРТС (США). Зона влияния Каракумского канала. По М. Т. Илюшиной. Массивы орошения: 1 — новоорошаемые; 2 — староорошаемые. Солончаки и засоленные земли: 3 — мокрые (с фильтрационными озерами); 4 — покровные; 5 — такыровидные поверхности. Пески: 6 — бугристые; 7 — бугристые с пятнами такыров; 8 — грядовые с такырами в межгрядовых понижениях. Горы: 9 — предгорья; 10 — низкогорья; 11 — среднегорья; 12 — трасса Каракумского канала

скрыты от непосредственного наблюдения горные породы. В связи с этим детальный анализ антропогенных объектов в ряде случаев позволяет использовать их в качестве индикаторов некоторых гидрогеологических и инженерно-геологических условий. Например, Н. П. Назаровой [94] по АФС осуществлена типизация пространственной конфигурации населенных пунктов Юга Украины, что имеет гидроиндикационное значение.

Результаты дешифрирования объектов хозяйственной деятельности человека необходимо отражать на специальных картах-схемах, что позволяет, с одной стороны, выявлять ландшафтные взаимосвязи, а с другой — устранять возможные ошибки в дешифрировании КФС, которые неизбежны, особенно при камеральном дешифрировании.

Общезвестно, что максимальную в геологии информацию КФС дают в отношении дизъюнктивной тектоники. При дешифрировании мелкомасштабных КФС платформенных областей за линеаменты часто принимаются дороги и трубопроводы, для которых, так же как и для дизъюнктивов, характерны прямолинейные контуры. Вынесение их на специальную карту в процессе аналитического дешифрирования позволит уменьшить вероятность ошибок при индикационной интерпретации результатов аналитического дешифрирования.

С другой стороны, особенно это важно в пустынях, современная дорожная сеть повторяет очертания древних караванных путей, по направлению которых сооружены колодцы. В ряде случаев изучение гидрогеологических параметров, прямолинейно-ориентированных вдоль дорог колодцев, позволило установить, что они являются индикаторами дизъюнктивных нарушений. Таким образом, в этих случаях дороги совпадают с направлением разломов и могут являться их индикаторами. Такие примеры описаны в ряде работ [18, 19, 103].

СИНТЕТИЧЕСКИЕ ИНДИКАЦИОННЫЕ СХЕМЫ

Общие положения

Результаты аналитического дешифрирования физиономичных компонентов ландшафта позволяют, осуществив оценку их взаимосвязи путем составления синтетических схем, разработать комплексные индикаторы гидрогеологических и инженерно-геологических условий. Это обусловлено тем, что при дешифрировании КФС использование частных индикаторов (геоморфологических, геоботанических, гидрографических) не всегда приводит к положительному результату. Геоморфологические индикаторы, например, при анализе особенностей гидродинамики подземных вод и изучении экзогенных процессов, весьма эффективны, в то же время при индикации глубин залегания грунто-

вых вод без привлечения данных по растительности они малоэффективны.

Гидрографические индикаторы при оценке взаимосвязи поверхностных и подземных вод играют большую роль, однако при индикации процессов влагопереноса в зоне аэрации они неинформативны.

В последние годы аэроландшафтная индикация в связи с развитием мелкомасштабной высотной и космической фотоинформации опирается в основном на использование комплексных ландшафтных индикаторов [2, 21, 36, 84]. Комплексные ландшафтные индикаторы сочетают в себе элементы рельефа, растительности, гидрографической сети. В связи с тем, что географические ландшафты представляют собой однородные природно-территориальные комплексы, они имеют присущую им внутреннюю структуру, определяющуюся пространственным соотношением комплексов более низкого ранга, поэтому среди ландшафтов, согласно представлениям Н. А. Солнцева, выделяются более мелкие морфологические элементы (фация, урочище, местность). Внешний видимый ярус этих ландшафтных комплексов, определенный С. В. Викторовым как эктоярус, и является индикатором их невидимых компонентов.

В связи с этим современная аэроландшафтная индикация основана на дешифрировании по АФС и КФС эктоярусов ландшафтных комплексов и их индикационной интерпретации в гидрогеологических и инженерно-геологических целях. При этом в зависимости от уровня генерализации фотоизображений используются и различные индикаторы. При дешифрировании АФС крупного и среднего масштаба в большей части используются частные индикаторы на уровне конкретных особенностей рельефа и растительности. При дешифрировании мелкомасштабных аэрофотоснимков ведущую роль играют комплексные индикаторы на уровне эктоярусов фаций и урочищ.

Продолжая эту мысль, можно было бы предположить, что при дешифрировании космических снимков разных уровней генерализации также применяются ландшафтные индикаторы, но уже на уровне эктоярусов более сложных элементов. Отчасти это так. На локальном уровне генерализации важную индикационную роль играют эктоярусы сложных урочищ. При использовании же снимков регионального уровня генерализации процесс индикации несколько трансформируется. Особенности почвенно-растительного покрова вследствие высокой степени генерализации на таких снимках практически не отображаются. Вследствие этого при анализе снимков регионального уровня генерализации практически невозможно выявление тех ландшафтных взаимосвязей, которые лежат в основе гидроиндикации, литоиндикации, галоиндикации [21]. В данном случае имеются в виду взаимосвязи между почвенно-растительным покровом, рельефом, составом горных пород и подземными водами.

Роль основных индикаторов на региональном уровне генерализации КФС принадлежит крупным геоструктурным комплексам, выраженным в современном рельефе, при этом растительный покров переходит уже в группу объектов индикации.

Это обстоятельство позволяет говорить о необходимости введения при дешифрировании КФС структурно-тектонического индикатора, имеющего большое значение при выявлении региональных закономерностей формирования гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки [3, 84, 113].

В соответствии с этим при дешифрировании КФС различных уровней генерализации основными синтетическими индикаторами являются ландшафтно-индикационный и структурно-тектонический анализы. При этом ландшафтная индикация осуществляется с опережением, так как структурно-тектонический анализ в какой-то степени базируется на ее результатах.

Ниже рассмотрены методические особенности ландшафтно-индикационного и структурно-тектонического анализов по материалам разномасштабных КФС применительно к решению задач гидрогеологии и инженерной геологии, а также представления авторов по содержанию синтетических ландшафтно-индикационных и структурно-тектонических схем.

Ландшафтно-индикационные схемы

Основным содержанием ландшафтно-индикационных схем является характеристика взаимосвязи физиономичных и деципиентных компонентов. При этом они могут быть представлены в табличной и картографической формах.

Ландшафтно-индикационные таблицы подразделяются на две части. В первой приводится эталонное фотоизображение, характеристика физиономичных компонентов ландшафта — индикаторов и дешифровочных признаков, по которым распознаются эти индикаторы, во второй — объекты индикации (индикаты) — элементы гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки [17, 87]. Такие таблицы имеют самостоятельное значение, однако при картографическом выражении результатов ландшафтно-индикационного анализа они могут служить легендами к картам. В последние годы уже стало общепринятым составление легенд к картам в виде ландшафтно-индикационных таблиц [87, 103].

Ландшафтно-индикационные карты (схемы) при дешифрировании КФС составляются на основе синтеза трех источников:

- дешифрирования ландшафтов на КФС;
- анализа взаимосвязи результатов аналитического дешифрирования (гидрографической сети, геоморфологического, геоботанического);
- анализа имеющихся материалов и результатов полевых наземных работ.

Опыт аэроландшафтной индикации, накопленный в настоящее время, предоставляет исследователям большой фактический материал о ландшафтных индикаторах в различных регионах СССР [1, 2, 18, 21, 32, 33, 37, 84, 86, 94]. В связи с этим перед составлением ландшафтно-индикационных схем необходимо изучить имеющийся опыт ландшафтной индикации в исследуемом регионе и разработать на основе этого диагностический аппарат, т. е. составить представление о тех ландшафтных индикаторах, которые характерны для изучаемой территории. Так, например, при составлении по материалам КФС ландшафтно-индикационной схемы Устюрта нами был проанализирован весь имеющийся материал аэроландшафтных исследований не только в данном районе, но и вообще в пустынях [1, 2, 5, 18, 21, 32, 37, 97, 103], после чего задача заключалась в генерализации этих данных применительно к уровню космической индикации. Однако это не означает, что задача в данном случае сводится лишь к обобщению уже известных данных. Генерализация частных индикаторов в микрокомплексные, а микрокомплексных в макрокомплексные приводит к генерализации и объектов индикации, что часто является источником выявления региональных закономерностей гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки, не всегда возможного при использовании аэрофото-снимков.

Использование космических снимков позволяет несколько по-новому подойти к определению содержания ландшафтно-индикационных карт и трактовке основных понятий индикационного анализа.

В работах ряда авторов [2, 87, 91, 93], осуществлявших ландшафтно-индикационные исследования по материалам КФС в качестве объектов индикации, выступали элементы тектоники (пликативные и дизъюнктивные тектонические структуры). Однако на ландшафтно-индикационных картах они не отражались. Вместе с тем использование КФС при ландшафтно-индикационных исследованиях часто опирается именно на элементы тектонической структуры, которые играют индикационную роль в отношении гидрогеологических и инженерно-геологических условий. Это обстоятельство позволяет рассматривать структурно-тектоническую обстановку в качестве компонента ландшафта, выступающую на одних уровнях индикационного картирования в роли индикатора, а на других в роли объекта индикации.

В зависимости от уровня генерализации КФС объектами индикационного картирования являются комплексы различного ранга, каждый из которых характеризуется структурой, определяющейся соотношением физиономичных и деципиентных компонентов. Рассмотрим специфику индикационного картирования по материалам АФС и КФС в зависимости от уровня их генерализации (табл. 7).

Таблица 7

Особенности ландшафтно-индикационного

Уровень генерализации АФС и КФС	Объекты ландшафтно-индикационного картирования	ПТК, соответствующие объектам индикационного картирования	Физиономические компоненты ландшафта, определяющие их эктоярус
Глобальный	Мегакомплексы	Группы типов ландшафтов	Морфоструктуры I и II порядков
Региональный	Макрокомплексы	Типы ландшафтов	Морфосистемы (комплексы экзогенных форм рельефа, развитые в определенных морфоструктурных условиях)
Локальный	Мезокомплексы	Сложные урочища местности	Мезоформы рельефа, морфогенетические типы рельефа, группировки растительных сообществ
Детальный	Микрокомплексы	Фации, протые урочища	Растительные сообщества микроформы рельефа

анализа по материалам КФС

Парагенетические сочетания наиболее физиономических компонентов ландшафта, формирующих структуру фотоизображения	Дефициентные компоненты ландшафта (объекты индикации)		Глубина индикации
	Гидрогеологические	Инженерно-геологические	
Эндоморфогенные	Гидрогеологические структуры I и II порядков, которым соответствуют крупные артезианские бассейны	Геоструктурные зоны и отвечающие им группы инженерно-геологических формаций горных пород	Сотни метров
Экзоэндоморфогенные	Гидродинамика подземных вод (региональные области питания, транзита и разгрузки), характер связи грунтовых и напорных вод; обводненность разрывных нарушений; гидрогеологические структуры II и III порядка	Геоструктуры II и III порядков и соответствующие им инженерно-геологические формации горных пород; геолого-генетические комплексы покровных отложений; парагенетические комплексы экзогенных процессов	Десятки метров
Экзоморфо-биогенные	Процессы влагопереноса в зоне аэрации на значительных площадях (сотни километров). Глубины залегания грунтовых вод и их минерализация; местные области питания, транзита и разгрузки грунтовых и напорных вод; характеристика взаимосвязи поверхностных и подземных вод	Локальные структурно-тектонические условия, геолого-генетические комплексы пород, их литологический состав; проявление экзогенных процессов, степень их активности	Первые десятки метров
Биоэкзоморфогенные	Процессы влагопереноса в зоне аэрации на небольших площадях (десятки километров). Глубины залегания грунтовых вод и их минерализация	Литолого-петрографические особенности пород зоны аэрации на небольших площадях, а также оценка их засоленности и обводненности. Выявление преобладающего экзогенного процесса	Метры

На глобальном уровне генерализации КФС объектами индикационного картирования являются мегакомплексы, соответствующие группам ландшафтов. Физиономичными компонентами мегакомплексов на КФС являются морфоструктуры I и II порядков, являющиеся индикаторами гидрогеологических структур I и II порядков, которым соответствуют крупные артезианские бассейны, а также геоструктурных зон земной коры, которым отвечают группы инженерно-геологических формаций горных пород. Природа этих индикаторов условно может быть определена как эндоморфогенная. Глубинность индикации на этом уровне определяется сотнями метров. На региональном уровне генерализации КФС в качестве объектов индикационного картирования выступают макрокомплексы, соответствующие типам ландшафтов. Физиономичными компонентами макрокомплексов являются морфосистемы, представляющие собой комплексы экзогенных форм рельефа, развитые в определенных морфоструктурных условиях. При этом почвенно-растительный покров вследствие высокой степени генерализации на фотоизображениях не проявляется. Парагенезис этой взаимосвязи можно трактовать как экзоэндоморфогенный. В данном случае как раз и происходят те изменения в системе индикатор — индикат, о которых упоминалось в главе 3. Таким образом, на региональном уровне генерализации эктоярусом микрокомплексов является экзогенный морфогенез во взаимосвязи с морфоструктурной обстановкой. Объектами индикации на данном уровне генерализации являются: в гидрогеологии — гидродинамика подземных вод (региональные области питания, транзита, разгрузки), характер связи грунтовых и напорных вод, обводненность разрывных нарушений, гидрогеологические структуры II и III порядков; в инженерной геологии — формации горных пород, геолого-генетические комплексы покровных отложений, парагенетические комплексы экзогенных процессов. Глубинность индикации на данном уровне определяется десятками метров.

На локальном уровне генерализации КФС объектами индикационного картирования являются мезокомплексы, в пространственном отношении соответствующие сложным урочищам и местностям. Физиономичными компонентами мезокомплексов являются особенности мезорельефа и группировки растительных сообществ, определяющие их эктоярусы. В данном случае структуру этого индикатора можно трактовать как экзоморфобиогенную. Объектами индикации в гидрогеологии на данном уровне являются процессы, происходящие в зоне аэрации на значительных площадях, достигающих сотни километров; глубины залегания грунтовых вод и их минерализация; местные области питания, транзита и разгрузки грунтовых и напорных вод; характер взаимосвязи поверхностных и подземных вод. Инженерно-геологическими объектами индикации на данном уровне являются: локальные структурно-тектонические условия, геоло-

го-генетические комплексы пород, их литологический состав, проявления экзогенных процессов и степень их активности. Глубинность индикации здесь определяется первыми десятками метров.

На детальном уровне генерализации, к которому в большинстве случаев относятся АФС крупного и среднего масштаба, объектами индикационного картирования являются микрокомплексы, соответствующие в пространственном отношении фациям — как наиболее мелким морфологическим элементам ландшафта, а также простым урочищам. В качестве физиономичных компонентов микрокомплексов выступают растительные сообщества и особенности микрорельефа. Эти компоненты микрокомплексов определяют их эктоярусы, являющиеся индикаторами элементов гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки. Их парагенетическая связь может быть определена как биоэкзоморфогенная. Основным объектом индикации в гидрогеологическом отношении здесь являются процессы, протекающие в зоне аэрации на небольших площадях, не превышающих нескольких километров. При этом возможна индикация глубин залегания грунтовых вод и их минерализации. В инженерно-геологическом отношении на данном уровне индикационного картирования возможно выявление литолого-петрографических особенностей пород зоны аэрации, оценка их засоленности и обводненности, а также выявление преобладающего экзогенного процесса. Глубинность индикации в данном случае определяется в метрах.

В настоящее время ландшафтно-индикационные карты составляются главным образом на детальном и локальном уровнях генерализации КФС. Однако внедрение космических методов в практику гидрогеологических и инженерно-геологических работ потребует переоценки существующих региональных представлений, в связи с чем возникнет необходимость составления мелкомасштабных ландшафтно-индикационных карт с использованием КФС.

Структурно-тектонические схемы

Содержание структурно-тектонических схем определяет информацию о геологической структуре территории, которая может быть использована для индикации гидрогеологических и инженерно-геологических условий. Выявляемые при дешифрировании КФС и АФС структурные элементы земной коры подразделяются по характеру и масштабу дислокаций.

По характеру дислокаций их подразделяют на две главные категории: пликативные и дизъюнктивные. Общепринятой классификации по масштабу тектонических структур пока не существует. Однако наиболее применяемой является схема, согласно которой выделяются структуры: I порядка — материка, океани-

ческие впадины и переходные зоны; II порядка — платформы, складчатые области, геосинклинальные зоны, талассократоны, срединно-океанические подвижные пояса; III порядка — складчатые системы, срединные массивы, межгорные впадины, антеклизы, синеклизы, авлакогены и др.; IV порядка — своды, впадины, валы, желоба, антиклинали, синклинали и др.; V порядка — складки, локальные поднятия, мульды и т. д. Еще более мелкими структурными единицами считают отдельные элементы складок и локальных структур [156]. В меньшей степени разработана порядковая классификация дизъюнктивных структур. Условно их можно считать равными порядку пликативных структур, которые они ограничивают. Например, глубинные разломы, ограничивающие материки, — I порядка, ограничивающие платформы, — II порядка и т. д. [154].

При дешифрировании АФС и КФС геологические структуры имеют двойственный характер, в одних случаях выступая в качестве индикатора, в других — индиката. Можно выделить две системы индикатор—индикат. По отношению к гидрогеологическим и инженерно-геологическим условиям геологическая структура является индикатором. По выявленным отдельным элементам структуры можно определить направление регионального подземного стока, участки возможного перетока напорных вод в грунтовые.

Более сложное соотношение индиката и индикатора существует между геологической структурой и элементами эктоярусов ландшафта. Положение геологических структур и их роль в индикационном анализе КФС определяется особенностями их влияния на физиономические компоненты ландшафта, отражающиеся на КФС и АФС.

На детальном уровне генерализации АФС и КФС оптические свойства в основном определяются биоморфогенными сочетаниями. С переходом к локальному уровню генерализации резко возрастает значение рельефа, особенно морфоскульптурных форм, вместе с растительностью определяющих оптические свойства изображения (морфобиогенные связи). На этом уровне геологическая структура выступает преимущественно в роли индиката, но по характеру пространственного распределения почвенно-растительного покрова и экзогенных форм рельефа могут восстанавливаться отдельные ее элементы. На более высоких уровнях генерализации свойства фотоизображения определяются в основном крупными формами рельефа, в образовании которых ведущую роль играет эндогенный фактор. Поэтому на региональном и в еще большей степени на глобальном уровнях генерализации отдельные черты геологической структуры непосредственно отражаются на КФС в виде морфоструктур разных порядков. Дополнительной причиной, способствующей возрастанию значения геологической структуры, формированию характера фотоизображения, при переходе к мелкомас-

штабным КФС является относительно большая роль рисунка фотоизображения, выступающего в качестве основного дешифровочного признака. На детальном уровне он обусловлен особенностями почвенно-растительного покрова, в значительной степени определяющихся микро, мезо- и макромолекулярными экзогенными процессами, связанными главным образом с климатическими изменениями. При переходе к локальному и региональному уровням генерализации КФС рисунок фотоизображения зависит в большей степени от длительных по продолжительности развития экзогенных процессов (мегамолекулярных, декамолекулярных и сантимодулярных), развитие которых во многом обусловлено влиянием эндогенного фактора [126].

Дешифровочные признаки и возможности картирования элементов геоструктуры в зависимости от обзорности, генерализации и разрешающей способности КФС рассматриваются во многих работах [2, 9, 13, 60, 67, 76], поэтому более подробно мы остановимся на рассмотрении индикационной роли этих элементов при изучении гидрогеологических и инженерно-геологических условий.

На глобальном уровне генерализации объектами структурно-тектонического картирования являются структуры I, II и III порядков. Они оказывают влияние на наиболее общие гидрогеологические и инженерно-геологические условия территории. Контуры этих структур часто определяют границы крупных артезианских бассейнов, инженерно-геологических формаций горных пород и площади распространения парагенетических комплексов экзогенных процессов. Разрывные нарушения, выделяющиеся на КФС глобального уровня генерализации, можно подразделить на две группы. К одной из них относятся разломы, по которым осуществляется связь между напорными водами глубоких горизонтов и вышележащими водоносными комплексами, к другой — разломы и зоны повышенной трещиноватости, дренирующие грунтовые потоки [16, 103, 133].

Объектами структурно-тектонического картирования на региональном уровне генерализации являются складчатые структуры III и IV порядков и ограничивающие их разрывные нарушения регионального характера. Гидрогеологическая и инженерно-геологическая роль этих геоструктур значительна. Складчатые структуры контролируют границы распространения основных формаций и стратиграфо-генетических комплексов пород, морфогенетических типов рельефа и гидрогеологических структур. Разрывные нарушения оказывают значительное влияние на формирование, транзит и разгрузку подземных вод, взаимосвязь грунтовых и напорных вод. На этом же уровне генерализации КФС лучше выявляется связь между дизъюнктивными нарушениями разных порядков, позволяющих более точно оценить гидрогеологическую роль не одного разрывного нарушения, а всей системы разрывов, развитых на изучаемой территории.

На локальном уровне генерализации объектами структурно-тектонического картирования являются главным образом складчатые структуры IV, V порядков и локальные структуры, оказывающие большое влияние на условия формирования грунтовых вод. В ряде случаев анализ структурно-тектонических схем, составленных на КФС локального уровня генерализации, позволяет оценить характер взаимосвязи поверхностных и подземных вод. Локальные структуры оказывают влияние на направление отдельных потоков грунтовых вод, часто локализующихся в зонах повышенной трещиноватости и на их крыльях или сводах [86, 117]. Разрывные нарушения, выявленные с помощью таких снимков, можно классифицировать по их обводненности [103, 133]. Помимо этого возможна оценка закономерностей развития экзогенных процессов, обусловленных структурно-тектоническими факторами.

На детальном уровне генерализации элементами структурно-тектонического картирования для целей гидрогеологии и инженерной геологии является преимущественно трещиноватость различных горных пород. Получаемые данные по густоте трещиноватости и преобладающему направлению ее протекания могут быть использованы как для качественной характеристики водопроницаемости пород, так и для определения их физико-механических свойств. Как правило, трещины на этом уровне генерализации выявляются путем анализа вытянутых контуров физиономических компонентов ландшафта или их спрямленных границ.

ИНДИКАЦИОННАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМОФОТОСНИМКОВ В ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ

Данные аналитического дешифрирования КФС, обобщенные в синтетических индикационных схемах, используются при решении конкретных гидрогеологических и инженерно-геологических задач. Среди них наиболее перспективны: оценка геологическо-литологических условий как субстрата, в котором формируются подземные воды и протекают гидрогеологические и инженерно-геологические процессы; выявление основных параметров подземных вод — глубин их залегания и минерализации; изучение процессов, протекающих в зоне аэрации; оценка обводненности дизъюнктивных нарушений; выявление взаимосвязи поверхностных и подземных вод; изучение экзогенных геологических процессов.

Для более широкого внедрения материалов космофотосъемки в практику гидрогеологических и инженерно-геологических работ следует правильно оценить их возможности для решения различных отраслевых задач, в связи с чем необходимы четкие

представления о путях оценки информативности разномасштабных КФС. Ниже рассмотрены методические особенности использования КФС при решении различных задач гидрогеологии и инженерной геологии.

Геолого-литологические условия

Горные породы, их генезис, возраст, состав и свойства во многом определяют гидрогеологические и инженерно-геологические процессы. В связи с этим они являются важным объектом при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях.

Возможности индикационного анализа КФС при дешифрировании геологического строения различны в зависимости от положения горных пород в разрезе. Вопросы геологического дешифрирования КФС подробно рассмотрены в ряде работ [38, 46, 67, 76], в связи с чем мы ограничимся лишь кратким рассмотрением возможностей КФС в этом направлении. Четвертичные отложения являются неотъемлемым элементом гидрогеологических и инженерно-геологических карт, поисковым признаком на грунтовые воды и средой, в которой развивается большая часть гидрогеологических и инженерно-геологических процессов. Их дешифрирование осуществляется главным образом косвенно — через систему индикаторов. Распознавание четвертичных отложений на КФС, так же как и на АФС, неразрывно связано с дешифрированием геоморфологических особенностей. Единство, существующее между рельефообразованием и накоплением рыхлых отложений, обуславливает возможность использования рельефа в качестве ведущего индикатора генезиса и возраста четвертичных отложений. Большую индикационную роль при этом играет также и рисунок гидрографической сети, чутко реагирующий на характер рельефообразующих процессов, а также растительность, в ряде случаев связанная с литологическим составом четвертичных отложений.

Поскольку возможности дешифрирования рельефа на КФС обусловлены уровнем их генерализации, то соответственно и дешифрируемость четвертичных отложений находится в этой же зависимости. Максимальную информацию в данном случае представляют КФС локального уровня генерализации и несколько более генерализованную — регионального уровня.

При дешифрировании четвертичных отложений большое значение имеют дешифровочные признаки, обусловленные характером фотоизображения (тон, цвет, структура, конфигурация объектов). Причем в открытых аридных районах эти признаки играют не менее важную роль, чем геоморфологические индикаторы. Они позволяют судить о генезисе четвертичных отложений, их литологическом составе и в некоторых случаях о возрасте. Однако использование только этих признаков может при-

вести к ошибкам при дешифрировании, в связи с чем необходимо оперировать комплексом дешифровочных признаков и индикаторов. Так, например, очень светлым фототонем в аридных районах характеризуются хемогенные отложения солончаков и пролювиальные отложения такыров, причем на КФС они обладают и одинаковой структурой фотоизображения; в большинстве случаев конфигурация солончаков и такыров также мало чем отличается.

Правильно интерпретировать подобные случаи помогает комплексный анализ компонентов ландшафта: анализ общей геоморфологической и структурно-тектонической обстановки региона, характер гидросети, растительный покров в сочетании с дешифровочными признаками. При этом следует отметить, что в каждом конкретном регионе возможны свои закономерности в формировании ландшафтообразующих процессов и поэтому универсальных схем объяснения причин возникновения того или иного явления не существует. Так, например, эоловые массивы на Устюрте приурочены к синклинальным прогибам, а в других пустынях песчаные массивы являются достоверным индикатором антиклинальных поднятий. В соответствии с этим могут изменяться и дешифровочные признаки. Поэтому, с нашей точки зрения, ошибочны утверждения тех исследователей, которые предлагают универсальные дешифровочные признаки для различных генетических типов отложений.

Авторы в своей практике неоднократно отмечали случаи, когда, например, делювиальные отложения (а в равной степени и другие генетические комплексы) в различной ландшафтно-климатической обстановке имели различные фототон, цвет и структуру. Однако дешифровочные признаки в ряде случаев несут информацию, которую невозможно получить с помощью индикаторов. Часто тон фотоизображения указывает на различные свойства грунтов, например на влажность. Установлено, что в аридной зоне потемнение фототона четвертичных отложений может быть связано с их повышенной обводненностью, что подчеркивается присутствием влаголюбивых растительных сообществ. Осветление фототона в некоторых случаях может быть связано с повышенной плотностью грунтов. Так, например, пролювиальные отложения такыров имеют светлые оттенки фототона, поскольку для них характерна повышенная плотность, являющаяся одной из причин слабого их зарастания растительностью. Изменение фототона в ряде случаев может быть связано с различной мощностью четвертичных отложений. Установлено, что чем меньше мощность четвертичных отложений, тем светлее фототон [76].

Наиболее информативным и устойчивым признаком при дешифрировании четвертичных отложений является структура фотоизображения, поскольку ее формирование обусловлено комплексом факторов: рельефообразующими процессами, гидросетью,

почвенно-растительным покровом, особенностями хозяйственного освоения территории.

В настоящее время достаточно хорошо разработаны дешифровочные признаки различных геолого-генетических комплексов отложений применительно к разнообразным природным условиям. Они приводятся в ряде работ и широко известны [67, 76, 141]. Породы коренной основы распознаются с помощью дешифровочных признаков и индикаторов, среди которых ведущую роль играют геометрические особенности геологических образований, форма геологических тел, их плановая конфигурация, слоистость и т. д. [67, 76]. Не менее важную роль играют тональные и структурные особенности фотоизображений. Ландшафтно-индикационный подход к дешифрированию дочетвертичных пород применим лишь в тех случаях, когда особенности геологического строения находят отражение в рельефе и влияют на характер мезо- и макрорельефа и рисунок гидрографической сети. В связи с этим индикационную роль при дешифрировании коренных пород играют главным образом элементы геоструктуры и геоморфологические особенности, а также рисунок гидрографической сети [38, 60, 67, 76].

Рисунки, создаваемые геологическими образованиями, связанные со слоистостью, контактами различных комплексов пород и тектоническими структурами, во многих случаях являются основными дешифровочными признаками и даже более информативными, чем тональные особенности фотоизображения [67]. Так, например, параллельная или субпараллельная полосчатость структуры изображения, обусловленная слоистостью горных пород, — надежный дешифровочный признак осадочных образований, решетчатость и полигональность структуры фотоизображения, обусловленная густой системой трещиноватости пород, индицирует комплексы изверженных и метаморфических пород, в которых тектоническая трещиноватость отражает их сланцеватость и сильную раздробленность. Конфигурация геологических образований (форма и размеры) во многих случаях также может указывать на природу интрузивных тел и форму их залегания. Наиболее неустойчивым из дешифровочных признаков является фототон, который может быть обусловлен как техническими особенностями фотосъемки, так и характером проективного покрытия поверхности растительностью.

Применимость различного типа индикаторов обусловлена уровнем генерализации используемых КФС. На глобальном уровне генерализации дифференциация комплексов горных пород в стратиграфическом и возрастном отношении невозможна. Поэтому на таких снимках дешифрируются преимущественно формации горных пород, характеризующиеся большими площадями развития и резко фотогеничными дешифровочными признаками. Основную индикационную роль в данном случае играют морфоструктуры I порядка. При этом возможно выделение

основных генетических категорий горных пород: осадочных, магматических, метаморфических.

На снимках регионального уровня генерализации возможно выделение крупных литолого-стратиграфических комплексов пород, главным образом благодаря их структурному контролю [25, 67]. Структурные признаки, отражающие различный характер дислоцированности пород, позволяющие индцировать их устойчивость по отношению к выветриванию, что является одним из показателей петрографического состава. На данном уровне генерализации определенную роль играют геометрические признаки геологических образований, рассмотренные выше. Анализ этих признаков позволяет определять типы интрузивных тел, лавовые покровы, потоки и т. п.

Наибольшую информативность в отношении дешифрирования коренных пород имеют снимки локального уровня генерализации. Физиономичными компонентами ландшафта в данном случае являются комплексы экзогенного морфогенеза и гидрографическая сеть. Экзогенные формы рельефа позволяют индцировать литологические разности в пределах крупных стратиграфических подразделений. Так, например, отчетливо дешифрирующиеся карстовые формы являются надежным индикатором карбонатных пород. Причем, осуществив типизацию морфологии карстовых форм, возможно индцировать преобладание в разрезе сульфатных, карбонатных или гипсовых разностей [132].

Рисунок гидрографической сети, находящий довольно отчетливое отображение на снимках локального уровня генерализации, также индцирует основные литологические разности. Например, гидросеть, характеризующаяся наличием редких коленообразных и угловатых изломов, — индикатор карбонатных пород. Древовидный рисунок индцирует глинистые породы, радиально расходящийся — лавовые покровы, соляные купола и т. д. На снимках данного уровня генерализации определенную индикационную роль играет растительный покров. При этом, конечно, невозможно выявление отдельных растительных сообществ и даже их группировок, однако крупные комплексы растительности дешифрируются. Например, в гумидной зоне смена типов лесов указывает на изменение литологического состава [89]. В аридных районах смена комплексов пелитофитов на псаммофиты указывает на изменения в литологическом составе — от глинистых пород к песчаным [21].

На детальном уровне генерализации КФС при дешифрировании пород коренной основы важную роль играют дешифровочные признаки: тон, яркостный контраст, структура изображения, поскольку породы, различающиеся по составу и структурно-текстурным особенностям, имеют неодинаковые отражательные способности. Однако ведущее значение имеют геоморфологические индикаторы (особенности мезо- и микрорельефа, рисунок

гидросети). При этом возможно выделение основных литологических разностей среди осадочных, метаморфических и изверженных пород.

Материалы КФС детального уровня генерализации по информативности соответствуют среднемасштабным аэрофотоснимкам, в связи с чем методика их дешифрирования практически не отличается от рассмотренной в ряде монографических изданий, посвященных геологическому дешифрированию АФС [91, 109].

Глубины залегания подземных вод и их минерализация

Индикация глубин залегания подземных вод и их минерализации наиболее перспективна по материалам КФС детального и локального уровней генерализации, поскольку основными индикаторами в данном случае являются особенности почвенно-растительного покрова в сочетании с рельефом территории, формирующим эктоярус микро- и мезокомплексов ландшафта.

Теоретически аэроландшафтно-гидроиндикационная интерпретация фотоизображений обоснована Е. А. Востоковой и получила дальнейшее развитие в работах ее учеников [1, 32, 33, 36, 97].

На детальном уровне генерализации в качестве индикаторов глубин залегания грунтовых вод и их минерализации могут выступать как отдельные растительные сообщества и элементы рельефа, так и их группировки. Растительные сообщества, индицирующие глубину залегания грунтовых вод, получили название гидроиндикаторов, подразделяющиеся, согласно Е. А. Востоковой [32, 33], на гидрофиты, индицирующие глубины до 1,5 м, к которым относятся прибрежно-водные растения, периодически затопляемые поверхностными водами, и прибрежно-луговые; фреатофиты, индицирующие уровень грунтовых вод до 15 м, объединяющие растения с глубокой корневой системой, достигающей уровня грунтовых вод; трихогидрофиты, индицирующие грунтовые воды до глубины 40 м. К этой группе гидроиндикаторов относят растения, достигающие капиллярной каймы грунтовых вод. По отношению к минерализации выделяется также несколько категорий растительности: гидрогликофиты, индицирующие пресные грунтовые воды; гидросемигалофиты, индицирующие пресные и солоноватые воды; гидрогалофиты, указывающие на сильноминерализованные воды, и гидроэвгалиннофиты, к которым относятся растения, не имеющие индикационного значения по отношению к минерализации грунтовых вод. В настоящее время достаточно хорошо изучены растения-гидроиндикаторы в различных районах СССР, главным образом в пустынях, и изданы справочники растений-индикаторов грунтовых вод [37].

Геоморфологические особенности также играют определенную роль в гидроиндикации. В различных природных зонах отчетливо проявляется зависимость между характером рельефа и глубиной залегания грунтовых вод. Так, например, в области развития ледниковых отложений участки с глубиной залегания грунтовых вод до 2 м приурочены к ложбинам стока и к подножиям склонов, а с глубиной залегания более 5 м — к водораздельным поверхностям [89]. В пустынных районах типы песков индицируют участки с разными глубинами залегания грунтовых вод [103, 117]. То же можно сказать о такырах и карстовых формах рельефа [2, 114, 131]. Если использование частных индикаторов позволяет индицировать грунтовые воды на небольших участках дискретно (т. е. в местах произрастания конкретных растений или его сообщества и местоположения формы рельефа), то комплексные индикаторы на уровне эктоярусов микрокомплексов позволяют определять площадные параметры первого от поверхности водоносного горизонта. Так, например, «чуроты» в пустынях индицируют участки с глубиной залегания пресных грунтовых вод до 5 м, соры индицируют соленые воды на глубине до 3 м, сазы (влажные луга) индицируют пресные и слабосоленоватые воды в предгорных пустынях на глубине до 3 м [21].

КФС детального уровня генерализации позволяют осуществлять индикацию глубин залегания с дробными интервалами (в м): до 1, 1—3; 3—5; 5—8; 8—10; 10—15; 15—20; 20—25; 25—30 и реже до 40. По минерализации грунтовых вод дешифрируются участки с распространением пресных, слабосоленоватых, соленоватых, соленых вод и рассолов.

На локальном уровне генерализации КФС ведущую индикаторную роль играют эктоярусы мезокомплексов ландшафта, наиболее физиономичен в которых рельеф, связанный с экзогенной составляющей морфогенеза. Растительность дифференцированно на этих снимках не выражена, но влияет на характер фотоизображения, обуславливая вариации фототона и цвета. Изменение фототона часто служит дешифровочным признаком на близкое к поверхности залегание грунтовых вод. Так, например, сгущение растительности в межрядовых и межбугровых понижениях песчаных массивов часто бывает связано с неглубоким (до 5 м) залеганием грунтовых вод. Дешифрирование заболоченных территорий в гумидной зоне, дающих общее потемнение фототона, также указывает на близкое к поверхности залегание грунтовых вод.

В целом использование КФС локального уровня генерализации позволяет индицировать различия в глубинах залегания грунтовых вод, однако не в таких дробных интервалах как на детальном уровне. Преимущественно можно судить о глубинах в интервалах до 5; 10; 10—20 и более 20 м. По минерализации грунтовых вод реально выделение четырех категорий: пресные,

солончатые, соленые и рассолы. Так, например, дешифрируя барханные центральные участки песчаных массивов, можно с уверенностью индцировать пресные воды; периферийные бугристо-грядовые участки песчаных массивов, прилегающих к солончакам, индцируют участки распространения солончатых вод, а участки солончаков указывают на соленые воды и рассолы в зависимости от типа солончака.

На региональном уровне генерализации КФС получение информации о глубинах залегания грунтовых вод и их минерализации крайне ограничено. Ведущим индикатором здесь являются морфосистемы, представляющие собой эктоярус макрокомплексов ландшафта, дающий о глубинах залегания грунтовых вод весьма скудную информацию. С уверенностью можно индцировать глубины уровня залегания грунтовых вод лишь в областях их разгрузки, которые пространственно тяготеют к отрицательным морфоструктурам, например в солончаках, часто расположенных в днищах мульд, в конусах выноса пролювия, выполняющих синклинальные структуры, и т. д. Наиболее достоверно на снимках регионального уровня можно индцировать глубины залегания грунтовых вод в интервалах до 5 и более 5 м. По минерализации можно достаточно уверенно индцировать рассолы.

КФС глобального уровня генерализации информацию о глубинах залегания подземных вод и их минерализации не предоставляют.

Влагообмен в зоне аэрации

Под зоной аэрации понимается верхняя часть земной коры, расположенная между дневной поверхностью и зеркалом грунтовых вод. Несмотря на весьма незначительную мощность, через зону аэрации осуществляется влияние на подземные воды большой группы экзогенных факторов (климата, рельефа, растительности, деятельности человека и др.). В свою очередь подземные воды могут оказывать положительное или отрицательное воздействие через зону аэрации на внешнюю среду. Эти взаимосвязи являются ландшафтными, поскольку осуществляются между всеми компонентами ландшафта, в понимании Н. А. Солнцева. Поэтому дистанционная индикация процессов, происходящих в зоне аэрации, представляется вполне перспективной.

Одним из основных процессов, происходящих в зоне аэрации, является влагоперенос, так как именно он определяет водообмен, во многом солеобмен и теплообмен в системе подземные воды — корнеобитаемый слой — атмосфера. При этом зону аэрации можно рассматривать как связующее звено между поверхностными и подземными водами. Вопрос о ресурсах подземных вод и их восполнении рассматривается в настоящее вре-

мя только с учетом вертикального водообмена в верхней части земной коры.

Воздействие экзогенных факторов на зону аэрации осуществляется посредством процессов массоэнергообмена (инфильтрации, эвапотранспирации, переноса влаги, соли и тепла). Накопление и расходование вещества и энергии ведет к формированию того или иного количества воды, характеризующегося определенным химическим и газовым составом, температурой и т. д. Основная роль в этом отношении принадлежит влагообмену через зону аэрации, который определяет ресурсы подземных вод, а также в ряде случаев их минерализацию, химический состав и температуру.

Изучение процессов влагопереноса в зоне аэрации связано с решением практических задач: охраны подземных вод от истощения и загрязнения; оценки естественно и искусственно восполняемых запасов подземных вод, устойчивости сооружений и пр. Для решения этих задач необходима информация о факторах и процессах массоэнергообмена.

Существующие методы изучения зоны аэрации (метод водного баланса, методы индикаторов и др.) хотя и позволяют оценить результирующие величины атмосферного питания, но все же не вскрывают сущности и режима процессов, протекающих в зоне аэрации (балансовый метод наиболее трудоемкий и дорогой, метод индикаторов встречает трудности внедрения в связи с тем, что современные теоретические концепции не позволяют пока найти аналитическое решение общего уравнения потока влаги в ненасыщенной зоне) [164].

Наиболее перспективной с точки зрения оценки влагообмена и процессов влагопереноса в зоне аэрации нам представляется разработка В. Н. Чубарова, базирующаяся на принципах термодинамики. Разработанный им прямой метод определения потоков влаги в почво-грунтах основан на совместном изучении термодинамики пленочной и капиллярно-менисковой влаги (метод палеток влажности) [164].

Специфика этого метода состоит в том, что с точки зрения движения влаги рассматриваются не отдельные слои почво-грунтов, а вся система: зона аэрации — грунтовые воды. При этом вода в тонких пленках и капиллярах рассматривается как принадлежащая к единой гидродинамической системе. Для использования данного метода необходимо располагать набором палеток влажности и знать характер ее распределения в зоне аэрации.

На основе изучения термодинамики почвенной влаги, и в частности применения метода палеток влажности, В. Н. Чубаров предложил генетическую классификацию типов водообмена через зону аэрации и критерии выделения этих типов, введя понятие критических мощностей зоны аэрации при испарении и транспирации [164]. Критическая мощность при испарении —

до 3 м и при десукции — 17—20 м. При мощностях зоны аэрации более 17 м какой-либо водообмен грунтовых вод с атмосферой исключен, т. е. имеет место равновесный тип водообмена; при мощностях от 3 до 17 м возможно только расходование на десукцию; при мощностях менее 3 м — сочетание всех трех основных процессов водообмена: инфильтрации, испарения и десукции (смешанные типы).

Выявление и сопоставление генетических связей и зависимостей между процессами, происходящими в зоне аэрации и обуславливающими их факторами, возможно двумя путями: графическим и картографическим.

Графический путь заключается в построении эпюр влажности и графиков зависимости между влажностью и коэффициентом влагопроводности, данные для построения которых определяются с помощью термостатно-весового метода и центрифугирования образцов грунта в полевых условиях. Анализируя эти зависимости, можно установить тип питания грунтовых вод через зону аэрации. Однако этот путь возможен лишь для дискретных точечных определений.

При необходимости получения площадных характеристик данные, получаемые в процессе опытных полевых работ, используются для составления карт зоны аэрации.

Согласно представлениям Н. В. Роговской [118], карты зоны аэрации по содержанию разделяются на два типа: карта факторов массоэнергопереноса в зоне аэрации и на ее границах и карта районирования зоны аэрации по типам питания грунтовых вод.

Составление этих карт возможно с использованием материалов космодатосъемки. К числу факторов массоэнергосообмена зоны аэрации относятся: мощность зоны аэрации, геолого-литологическое строение, состав пород и их водно-физические свойства.

Методика составления карты факторов массоэнергосообмена в зоне аэрации по материалам космодатосъемки базируется на использовании результатов аналитического дешифрирования физиономических компонентов ландшафта и использовании результатов для составления синтетической ландшафтно-индикационной схемы. Она является основой для индикации факторов массоэнергосообмена зоны аэрации: геолого-литологического строения и ее мощности.

Определение водно-физических свойств пород зоны аэрации целесообразно на ключевых участках, число которых определяется количеством основных типов объектов ландшафтно-индикационного картирования, определяющих структуру ландшафта. Так, например, если в песчаных массивах по ландшафтным признакам выделяется четыре мезокомплекса (барханные пески, грядовые пески, бугристые пески, грядово-бугристые пески), то необходимо получение данных о водно-физических свойствах,

характерных для каждого мезокомплекса. Использование КФС позволяет осуществлять экстраполяцию данных с ключевого участка на площадь всего мезокомплекса.

Методика составления карты районирования зоны аэрации по типам питания грунтовых вод с использованием КФС основывается на выявлении зависимости коэффициента влагопроводности от влажности. Располагая такими данными, можно определить количество атмосферной влаги, идущей на питание грунтовых вод. Эти данные отражают основные факторы влагопереноса в зоне аэрации.

При определении типа питания грунтовых вод через зону аэрации по материалам КФС необходимо использование следующих материалов:

- ландшафтно-индикационной карты;
- карты факторов влагопереноса в зоне аэрации;
- данных о зависимости между влажностью пород зоны аэрации и коэффициентом их влагопроводности, полученных для каждого типа объекта ландшафтно-индикационного картирования.

Путь выявления типов питания грунтовых вод через зону аэрации по КФС можно представить следующим образом. Ландшафтно-индикационная карта (схема), составленная на основе выявления взаимосвязей между физиономичными компонентами ландшафта (результаты аналитического дешифрирования) и деципиентными компонентами (составом пород, глубиной и минерализацией грунтовых вод), позволяет определить основные типы индикаторов процессов, происходящих в зоне аэрации.

Однако вследствие того, что эти процессы обусловлены взаимосвязью в системе грунтовые воды — горные породы — рельеф — почвенно-растительный слой — атмосфера, их индикация возможна только с помощью КФС, особенности генерализации которых позволяют использовать в качестве индикаторов сочетания рельефа и растительности. Они определяют эктоярусы микро- и мезокомплексов, отвечающих фациям, простым и сложным урочищам, местности (см. табл. 7). В данном случае имеются в виду детальный и локальный уровни генерализации КФС.

Основными физиономичными индикаторами на данном уровне являются растительные сообщества и особенности микро-рельефа, что позволяет выявить практически все типы питания грунтовых вод согласно классификации В. Н. Чубарова. Анализ таких параметров, как рельеф, тип растительного сообщества, проективное покрытие поверхности, указывает на возможность индикации литологического состава пород зоны аэрации, ее мощности, минерализации подземных вод первого водоносного горизонта.

Применяя результаты наземных опытных работ по изучению процессов влагопереноса на ключевых участках — представите-

лях каждого микро- и мезокомплекса ландшафта, характерного для изучаемого района, можно определить взаимосвязи между эктоярусами микро- и мезокомплексов и параметрами влагопереноса.

В дальнейшем, руководствуясь принципом интерполяции, можно реально оконтурить площади с различными типами питания грунтовых вод. Преимущества КФС локального уровня генерализации при изучении зоны аэрации перед АФС заключаются в возможности осуществить картирование на гораздо больших площадях с меньшими временными и материальными затратами.

Обводненность разрывных нарушений

Индикация обводненности разрывных нарушений позволяет установить их роль в распределении потоков подземных вод, познать закономерности их формирования, движения и разгрузки. Частично значение разрывных нарушений в формировании подземных вод нами уже рассматривалось. В настоящем разделе мы обращаем на это особое внимание.

Гидрогеологическая роль разрывных нарушений устанавливается по приуроченности к ним крупных концентрированных выходов подземных вод, высокодебитных скважин и наличию поверхностного стока, обусловленного подземным питанием. При типизации отдешифрованных на КФС линеаментов необходимо их классифицировать по геометрическим, структурным, ландшафтным и дешифровочным признакам.

Геометрические признаки (протяженность, ширина, азимут простирания) позволяют установить, какого характера данный линеамент, является ли он отдельным тектоническим нарушением, зоной дробления пород или же представляет собой глубокий разлом.

К структурным признакам относятся: характер дислокаций (сдвиг, сброс, грабен, горст, складки, флексуры), амплитуды смещения, относительный возраст и степень современной активности.

Ландшафтные признаки позволяют, с одной стороны, выявлять разрывные нарушения через анализ структуры ландшафтных комплексов, а с другой, — оценить их влияние на ландшафтообразующие процессы, поскольку разломы часто отражаются в рельефе, в распределении растительного покрова и в рисунке гидрографической сети.

Дешифровочные признаки отражают водообильность зон разрывных нарушений. При этом основным признаком является фототон, анализируя изменение которого возможно установить степень их влияния на формирование подземных вод. Вышеуказанные признаки взаимосвязаны между собой, поскольку гео-

метрия разрывных нарушений обуславливается характером и амплитудой дислокаций, а это в свою очередь оказывает влияние на ландшафтообразующие процессы и структуру фотоизображения. Однако анализ каждой группы признаков в отдельности позволяет получить данные, изучив которые во взаимосвязи, можно проинтерпретировать в гидрогеологических целях.

В этом отношении интересен опыт А. В. Садова и Л. Г. Химичева [133] при оценке гидрогеологической роли дизъюнктивов в горном массиве Арагац (рис. 7, 8). По геометрическим признакам ими были выделены две группы дизъюнктивных нарушений, каждая из которых характеризовалась определенными структурными, ландшафтными и дешифровочными признаками. Так, выделенные этими исследователями диагонально пересекающиеся системы разломов субмеридионального и субширотного простираний, имеющие большую протяженность, пересекали ряд морфоструктур. Такие линейные элементы выражаются в ландшафте в виде спрямленных отрезков речных долин, уступов рельефа, рядом потухших вулканов. Они протягиваются на 150—200 км и имеют довольно сложное строение. Условно они были отнесены к разломам I порядка.

Другая группа линейментов, не выдержанная по простиранию, имеет небольшие размеры и довольно однообразное строение. Они отчетливо выражены в рельефе каньонами, резкими перегибами склонов, шлаковыми конусами и имеют однородную тональность. Эта группа линейментов отнесена к разломам II порядка. Вид дислокаций, амплитуды смещений, относительный возраст и активность разломов были установлены по ряду косвенных признаков на КФС. Так, смещение линий разломов разных систем относительно друг друга свидетельствует о сдвиговых деформациях. Выраженность уступов по линиям разломов связана со сбросовыми деформациями и т. д. Об относительном возрасте разломов и их активности можно судить по их взаимоотношению с комплексами горных пород различного возраста. Современные разломы фиксируются в эффузивном чехле, древние — в соответствующих палеозойских образованиях.

Рассмотренный пример наглядно показывает специфику типизации разрывных нарушений по комплексу признаков, что является первым этапом для оценки их гидрогеологической роли.

Степень и характер обводненности разломов определяются с привлечением имеющихся данных по изучению подземных вод и их увязки с характером фотоизображений и проявлением в ландшафте. При этом, ориентируясь на опыт в этом направлении [103, 133], целесообразна оценка разрывных нарушений как линейных гидрогеологических структур, которые в зависимости от характера гидравлической связи могут быть разделены на двухсторонние, односторонние, глубинные дрены и экраны. Двухсторонними могут являться разломы, получающие пита-



Рис. 7. Космофотоснимок массива Арагац, полученный с пилотируемого корабля «Союз-12» (локальный уровень генерализации)

ние со структур, расположенных по обеим сторонам разлома. К ним обычно приурочены мощные концентрированные потоки подземных вод. Эти разломы являются современными, в большей части активными, в связи с чем довольно физиономичны на КФС и дешифрируются по фотоаномалиям. Они имеют протяженность в несколько десятков километров. К односторонним разломам могут быть отнесены те, которые получают питание

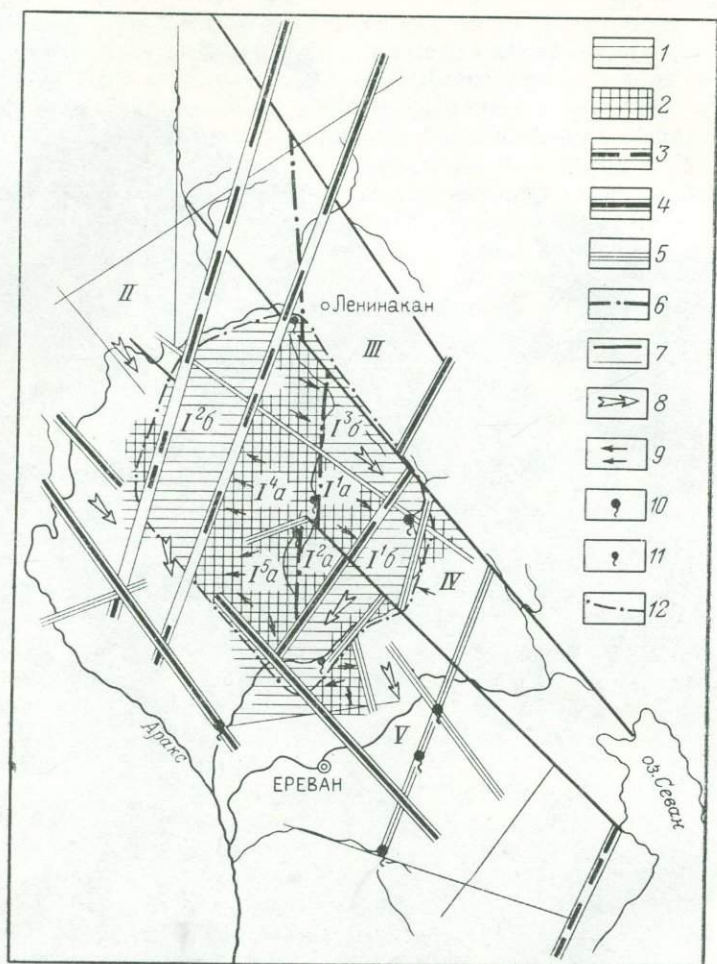


Рис. 8. Схема обводненности разрывных нарушений массива Арагац. Составлена по материалам КФС локального уровня генерализации. По Л. Г. Химичеву.

Группы структур: 1 — районы формирования сосредоточенного стока подземных вод; 2 — районы формирования рассредоточенного стока подземных вод; 3 — двухсторонние дренирующие линейные гидрогеологические структуры с большим модулем подземного стока; 4 — двухсторонние дренирующие линейные гидрогеологические структуры с малым модулем подземного стока; 5 — односторонние дренирующие линейные гидрогеологические структуры; 6 — глубинные дренирующие линейные гидрогеологические структуры; 7 — экранирующие линейные гидрогеологические структуры I и II порядков; 8 — направление движения сосредоточенного стока; 9 — направление движения рассредоточенного стока; 10 — крупные сосредоточенные выходы подземных вод; 11 — минеральные источники; 12 — границы гидрогеологических областей. II, III, IV, V — гидрогеологические области; I^{1a}, I^{2a}, I^{3a}, I^{4a} — гидрогеологические районы; I^{1b}, I^{2b}, I^{3b} — гидрогеологические подрайоны

лишь с одной стороны, например в тех случаях, когда один борт сложен водонепроницаемыми породами. Обводненность их значительно меньше, так как к ним приурочены маломощные потоки подземных вод. В современном рельефе эти разломы, как правило, не выражены и погребены, но дешифрируются по комплексу ландшафтных признаков.

Иногда в зоне разлома может происходить подток подземных вод из более глубоких горизонтов, такие разломы могут быть названы как глубинные дрены [133]. Они характеризуются длительностью и унаследованностью развития, огромным протяжением и глубиной заложения. Примеры дешифрирования на КФС дренирующих разломов известны в различных регионах. При дешифрировании разрывной тектоники в районе полуострова Бузачи М. И. Бурлешиним было установлено, что четко дешифрирующиеся по фотоаномалиям зоны разломов подпитываются водами меловых отложений. Анализ микрокомпонентного состава подземных вод меловых отложений, полученный при гидрогеологическом опробовании скважин, в сопоставлении с данными опробования подземных вод сарматского водоносного горизонта подтвердил это предположение [16]. Аналогичный пример можно привести из практики авторов при исследованиях на Устюрте [115, 117].

Разломы, имеющие закольматированную поверхность сбрасывателя, обуславливают подпор подземных вод. Их предложено называть экранирующими [133]. Пересечение экранирующих разломов с дренирующими в ряде случаев создает крупные локализованные выходы на поверхность подземных вод. Такой пример описывается в работе Г. С. Вартамяна и соавторов при поисках выходов минеральных вод на Кавказе [101]. Ряд источников минеральных вод приурочен в этом районе к зонам пересечения разнонаправленных зон разломов. Это хорошо прослеживается на КФС регионального уровня генерализации.

В ряде случаев анализ пространственного распределения дизъюнктивной тектоники по КФС позволяет выявлять участки перехвата потоков подземных вод разломами и отвода их в другом направлении. В этом отношении интересен опыт авторов при исследованиях на Центральном Устюрте, где на участке урочища Караколка была отдешифрирована на КФС локального уровня генерализации мощная зона дробления известняков сармата, приуроченная к долине Караколка. Причем правильность результатов дешифрирования была подтверждена сейсмо- и электроразведочными работами, проведенными по нашему заданию [131].

Дальнейший анализ гидродинамики потоков грунтовых вод, стекающих с Карабаура (Южно-Карабаурский поток грунтовых вод) и разгружающихся по современным представлениям во впадине Ассаке-Аудан [158], показал, что в зоне выявленного разлома происходит перехват вод Южно-Карабаурского по-

тока и отвод его за пределы Устья в сторону впадины Сарыкамыш, где и осуществляется его разгрузка [117]. Во впадине Ассаке-Аудан воды этого потока разгружаются частично в виде слабодобитного родника. О том, что Ассаке-Аудан является в настоящее время областью рассоления почво-грунтов, а не засоления (как должно было быть если бы разгрузка Южно-Карабаурского потока осуществлялась в этой впадине), свидетельствуют характер ее фотоизображения, резко отличающийся от типичных солончаков, являющихся областями региональной разгрузки соленых и соленоватых подземных вод, и данные С. В. Викторова [18].

Большое значение имеют линеаменты для уточнения границ распространения глубокозалегающих водоносных комплексов. Доказано, что зоны унаследованных глубинных разломов, четко выраженные в осадочном чехле и разделяющие территории с присущей каждой из них общностью гидрогеологических показателей, являются естественными границами между различными гидрогеологическими элементами [119]. Поэтому в ряде случаев зоны разломов могут служить точными границами крупных артезианских бассейнов. Оценка гидрогеологической роли дизъюнктивных нарушений является важной общетеоретической и практической проблемой современной гидрогеологии. Она еще не разрешена, и использование КФС для этих целей значительно поможет в поиске путей по разработке методики оценки обводненности разрывных нарушений.

Оценка взаимосвязи поверхностных и подземных вод

Такая оценка осуществляется на основе анализа компонентов ландшафта, влияющих на процессы водообмена между поверхностными и подземными водами. Эти процессы определяются параметрами гидрографической сети и речного стока, крутизной поверхностей рельефа, характером водопроницаемости пород, их трещиноватостью, литологическим составом и фильтрационными свойствами. Анализ взаимосвязи этих факторов позволяет оценить инфильтрационные условия в пределах различных участков земной поверхности.

Использование для этих целей КФС создает возможности для получения информации о многих из перечисленных факторов, однако объем этой информации определяется уровнем генерализации используемых КФС. Совершенно очевидно, что максимальный объем информации для оценки взаимосвязи поверхностных и подземных вод предоставляют КФС детального и локального уровней генерализации. Предложенная нами методика дешифрирования КФС, базирующаяся на аналитическом дешифрировании физиономических компонентов ландшафта, составлении на его основе синтетических индикационных

схем и их специальной интерпретации для целей гидрогеологии и инженерной геологии, является основой, обеспечивающей получение всей необходимой информации для оценки водообмена.

На первом этапе дешифровочного процесса, когда осуществляется прямое дешифрирование физиономических компонентов ландшафта (почвенно-растительного покрова, гидрографической сети и поверхностного стока, геоморфологических условий) путем составления аналитических карт-схем, устанавливаются взаимосвязи между характером гидрографической сети, рельефом и почвенно-растительным покровом. Анализируя их, возможна индикация элементов тектонической структуры, существенно влияющей на процессы водообмена.

В. Н. Островским [107] на примере Казахстана проанализировано влияние тектоники на процессы водообмена. При сопоставлении плана гидрографической сети и схемы тектонической трещиноватости им установлено, что речные долины первого порядка наследуют направление структурных элементов осей складок и разломов. Это способствует интенсивному дренированию подземных вод. Мелкая гидрографическая сеть в большей части не совпадает с направлением трещиноватости, а определяется господствующими направлениями уклонов. В связи с этим большое значение имеет анализ уклонов поверхностей рельефа, который также возможен с помощью материалов КФС локального и детального уровней генерализации. В этом плане интересен опыт, рассмотренный в работе [104]. На основе совместного анализа топографической основы КФС и АФС была составлена карта крутизны склонов в интервалах: 0—3; 3—5; 5—10; 10—15; 15—20; 20—30 и более 30°. Такая карта косвенно отражает соотношение склонового стока и инфильтрации и может быть использована для расчетов скорости склонового стока.

Большую роль при изучении взаимосвязи поверхностного и подземного стока играют ландшафтно-индикационные карты и схемы, поскольку они являются синтетическим выражением существующих внутриландшафтных связей. Используя данные ландшафтно-индикационного анализа, можно выделить основные стокоформирующие процессы, такие как питание, инфильтрация, разгрузка и т. д.

Данные о растительном покрове, являющиеся неотъемлемой частью нагрузки ландшафтно-индикационных карт, позволяют оценивать транспирационные расходы растительности, что влияет на условия формирования и режим грунтовых вод. Транспирация растительного покрова активно воздействует на режим неглубокозалегающих подземных вод. В. Н. Островский провел специальные исследования в этом направлении. Им установлено, что транспирация растительности в условиях аридных районов Казахстана приводит к понижению уровней грунтовых вод. Однако в зависимости от конкретных гидрогеологических и гео-

ботанических условий режим грунтовых вод имеет суточные и сезонные колебания. Для аридных районов характерна суточная ритмичность синусоидального типа, чему способствуют отчетливо выраженная локализация областей разгрузки подземных вод и более интенсивное потребление влаги сообществами фреатофитов [107]. Понижение уровней грунтовых вод вследствие этих причин компенсируется их притоком с окружающих участков, характеризующихся незначительным испарением, что и обуславливает суточную ритмичность.

С помощью ландшафтно-индикационной карты возможно получение информации, которую можно непосредственно использовать для определения скорости поверхностного стока. Н. А. Огильви, Н. Д. Лебедева и др. [104] с помощью ландшафтно-индикационной карты горного массива Арагац, составленной по материалам АФС, получили данные о шероховатости поверхности по методике М. Ф. Срибного. Эти данные позволяют оценивать как качественно, так и количественно условия поверхностного стока.

По мнению ряда авторов, питание подземных вод во многом обусловлено характером и интенсивностью поверхностного стока. Установлено, что максимальные ресурсы подземных вод формируются на участках, тяготеющих к речным долинам [107, 108]. В связи с этим большое внимание при анализе взаимосвязи поверхностного и подземного стока необходимо уделять изучению речных долин, их морфологии, связи с тектоникой, параметрам поверхностного стока.

Очень часто реки дренируют подземные воды. Это наиболее характерно для рек, долины которых заложены по дизъюнктивным нарушениям. Применяя количественные методы, можно оценить водообмен в речных долинах. Для этой цели В. Н. Островским и М. А. Хордикайненем [108] предложено воднобалансовое уравнение в виде

$$qt + q_1t + ax(F - F_1) + xF_1 + q_{\phi}t = K(F - F_1) + E_0F_1 + q_2t + q_{др}t + \sum \mu \Delta H(F - F_1) + \sum \Delta sF_1,$$

где q — расход подземных вод коренных пород, дренируемых речной долиной; t — время; q_1 и q_2 — расход аллювиального потока в верхнем и нижнем створах долины; x — осадки; a — коэффициент фильтрации атмосферных осадков; F — площадь рассматриваемого участка долины; F_1 — площадь плёсов; $q_{\phi}t$ — потери поверхностных вод на питание аллювиального водоносного горизонта; K — испарение грунтовых вод (их расходование в зону аэрации); E_0 — испарение с поверхности плёсов, равное испаряемости; $q_{др}$ — дренирование аллювиальных вод руслом реки, равное приращению межженного стока; μ — коэффициент водоотдачи аллювиальных отложений; ΔH — изменение уровней грунтовых вод, равное разности уровней в начальный момент времени t_1 и конечный момент t_2 ; $\sum \mu \Delta H(F - F_1)$ —

изменение запасов грунтовых вод; Δs — изменение уровня воды в плёсах.

Часть информации для расчетов по данному уравнению можно получить с помощью КФС и АФС, так, например, площадные параметры, приращение меженного стока, изменение уровня воды в плёсах. Другая часть информации может быть получена из существующих руководств и справочников, например величины испарения грунтовых вод, коэффициент водоотдачи аллювиальных отложений. Данные по приращению линейного стока, изменениям уровней и запасов грунтовых вод могут быть получены в процессе наземных исследований на ключевых участках.

Информация о взаимосвязи поверхностных и подземных вод, получаемая с помощью КФС, представляет возможность оценить водный баланс с применением математических методов моделирования [99]. Подобные работы в настоящее время ведутся в институте водных проблем АН СССР.

Гидродинамика подземных вод

Индикация особенностей гидродинамики подземных вод по материалам КФС осуществляется на основе анализа геоморфологических, геолого-литологических, структурно-тектонических и ландшафтно-индикационных данных, полученных при дешифрировании. Площадное распределение областей питания, транзита и разгрузки подземных вод определяется главным образом структурно-геоморфологическими факторами. Их влияние на формирование и распределение подземных вод детально рассмотрено в работе В. Н. Островского [107]. На примере Центрального Казахстана им установлено, что гидродинамика подземных вод обусловлена морфоструктурным планом Земли на всех уровнях формирования подземных вод.

Еще Н. И. Толстихиным [147] было установлено, что формирование океанической и континентальной гидрогеологических обстановок обусловлено влиянием глобальных закономерностей морфоструктурного плана Земли планетарного масштаба (геотектуры I порядка), а крупные пояса артезианских бассейнов соответствуют геотектурам II порядка (равнинно-платформенные и горные области). Пространственное распределение артезианских бассейнов обуславливается морфоструктурами I порядка. Они являются одним из наиболее важных факторов в распределении региональных областей питания, транзита и разгрузки подземных вод. Морфоструктуры IV порядка и локальные структуры контролируют гидродинамические зоны грунтовых вод.

На формирование и перераспределение потоков подземных вод большое влияние может оказывать дизъюнктивная текто-

ника, в ряде случаев осуществляющая их перехват и отвод в другом направлении [117]. Помимо этого, по линиям разрывных нарушений осуществляется взаимосвязь грунтовых и напорных вод [16, 107, 117].

Исследованиями многих авторов установлено, что зоны региональной разгрузки подземных вод часто приурочены к синклинальным прогибам, зоны питания подземных вод — к антиклинальным поднятиям, а зоны транзита — к крыльям положительных структур [2, 103, 107].

Из этого, однако, не следует, что задача сводится к поискам на КФС отрицательных или положительных структур и интерпретации их как гидродинамических областей. При этом надо оперировать комплексом факторов, в частности проанализировать характер поверхностного стока, данные об атмосферных осадках, особенности экзоморфогенеза, геолого-литологического строения и т. д. Однако приуроченность гидродинамических областей к структурам разного знака — явление в большинстве случаев закономерное.

Если для индикации условий формирования напорных вод ведущую роль играет морфотектонический анализ, наиболее перспективный по материалам глобального и регионального уровней генерализации КФС, то для индикации условий формирования грунтовых вод большую информативность имеет изучение экзогенного морфогенеза во взаимосвязи с морфоструктурой территории. При этом наиболее целесообразно использование снимков локального уровня генерализации. В связи с этим изучение элементов морфосистем современного рельефа позволяет получить необходимую информацию о направлении движения потоков грунтовых вод, границах распространения линз пресных вод, пространственного определения областей питания, транзита и разгрузки грунтовых вод.

Так, например, дешифрирующиеся на КФС локального уровня генерализации карстовые провальные формы рельефа свидетельствуют с повышенной скоростью и агрессивности подземных потоков на участках развития карста. Наземными исследованиями установлено, что, например, на Устюрте наиболее интенсивное развитие карст получил на крыльях антиклинальных структур [78, 79], следовательно, дешифрирование карстовых форм позволяет установить области транзита трещинно-карстовых вод, приуроченные к крыльям положительных структур. Такие же закономерности установлены С. К. Калугиным при изучении трещинно-карстовых вод Джекказганского района в Казахстане [66]. Дешифрирование солончаков в аридных районах позволяет устанавливать области разгрузки напорных и грунтовых вод. Линзы пресных вод обычно формируются в незакрепленных песчаных массивах и под такырами (подтакырные линзы), что весьма четко устанавливается по КФС. О разгрузке подземных вод позволяет судить в некоторых случаях

развитие оползневых процессов, интенсивная деятельность которых часто связана именно с выходами подземных вод на склонах.

На детальном уровне генерализации КФС контурное дешифрирование региональных гидродинамических областей затруднительно, так как пространственный охват территорий значительно меньше. Однако выявление местных особенностей условий питания или разгрузки, главным образом грунтовых вод возможно. С помощью биоморфогенных связей (парагенезис растительности и рельефа), определяющих рисунок фотоизображения на данном уровне, сравнительно легко дешифрируются отдельные выходы грунтовых вод в виде родников, наличие и границы мелких подпесчаных, подтакрыных и приканальных линз пресных вод [3, 36].

Экзогенные геологические процессы

Экзогенные процессы являются одним из наиболее динамичных элементов инженерно-геологической обстановки, оказывающих существенное влияние на природную среду и хозяйственную деятельность человека. Изучение общих закономерностей развития экзогенных процессов представляет собой проблему в современной инженерной геологии. К основным задачам изучения экзогенных процессов относятся: выявление их зональных и региональных закономерностей; анализ современного состояния; изучение активности, интенсивности и динамики; оценка их влияния на объекты инженерно-хозяйственной деятельности человека; прогнозирование.

Решение этих задач может осуществляться с помощью специального инженерно-геологического картирования и районирования территорий. Важную роль здесь приобретают аэрокосмические методы, обеспечивающие получение объективной и оперативной информации об экзогенных процессах с различной степенью детализации и генерализации — от узлокальной до региональной и даже глобальной, что невозможно сделать другими средствами.

На глобальном уровне генерализации КФС осуществляется выделение крупных областей, соответствующих определенным элементам геотектуры с преобладающим развитием основных групп экзогенных процессов — аккумулятивных, денудационных и гравитационных — и парагенетических сочетаний.

На данном уровне генерализации в качестве дешифровочного признака ведущую роль играет фототон изображения. Большая часть мезоформ рельефа на глобальных снимках генерализуется и отражается интегрированно через эктоярусы групп ландшафтов, определяя вариации фототона. Интенсивность его обусловлена общим характером расчлененности территорий, поэтому

такие компоненты ландшафта, как почвы и растительность на сверхмелкомасштабных снимках, индикационного значения не имеют.

На региональном уровне выявляются морфоструктуры I порядка (плато, равнины, горные хребты, кряжи, межгорные впадины) и II порядка (увалы, гряды, котловины, бессточные впадины и др.), а также их элементы (сводовые части положительных структур, их крылья, флексуобразные перегибы, днища и борта отрицательных структур и т. д.). Отчетливо устанавливается связь морфоструктур с генетическими типами экзогенных процессов, формирующих определенные типы морфоскульптуры. В большинстве случаев экзогенные процессы рассматриваются как индикаторы морфоструктур и их элементов. Это особенно важно при выявлении инверсии рельефа.

Информация, получаемая на данном уровне генерализации, используется при типизации экзогенных процессов и составлении обзорных карт их распространения. С их помощью возможно выявление региональных закономерностей в связи с морфоструктурой территории.

При дешифрировании этих снимков несколько большее значение приобретают рисунок и фототон изображения. Дифференцированное изображение имеют только самые крупные формы рельефа, как правило, связанные с эндоморфогенезом. По этой причине большую индикационную роль играют структурно-тектонические схемы, составляемые на основе морфоструктурного анализа КФС.

Локальный уровень генерализации позволяет выявлять все основные типы морфоскульптуры (эрозионные, оползневые, обвально-осыпные, карстовые формы рельефа и пр.) и их элементы. На локальном уровне генерализации возможно получение необходимой информации для выявления особенностей распространения генетических типов экзогенных процессов, их морфологического выражения, экспозиции склонов, густоты и глубины эрозионного расчленения территории и связи с общей геоморфологической обстановкой, определение возрастных генераций различных форм. Дешифрируются геологические комплексы пород и их литологический состав. Результаты дешифрирования используются для составления специализированных обзорных карт современного состояния и условий развития экзогенных процессов, районирования территории по интенсивности их проявления на основе количественных показателей.

На данном уровне происходит уменьшение роли конфигурации объектов как дешифровочного признака, а их стереоскопические свойства, особенно в равнинных условиях, практически не используются. Однако значительно возрастает роль рисунка фотоизображения, так как многие формы рельефа (бугры, посадочные блюдца, воронки, русла водных потоков и т. д.) получают на снимках интегральное выражение, образуя различного

рода полосчатость, пятнистость и зернистость рисунка фотоизображения ландшафта или их сочетания. Распознавание опирается на использование комплексных ландшафтных индикаторов на уровне экотярусов сложных урочищ и местности.

В связи с увеличением обзорности повышается также роль фототона изображений. Обширные площади оказываются сфотографированными и проявленными в одних и тех же технических условиях, что позволяет уверенно выделять и опознавать на местности фотоаномалии разной интенсивности. При распознавании экзогенных форм рельефа по рисунку и фототону изображения, как правило, возникает значительно большее количество ошибок, чем при использовании стереоскопических свойств снимка. В связи с этим для повышения достоверности геоморфологического дешифрирования необходимо более широкое использование комплексных ландшафтных индикаторов и составление на их основе ландшафтно-индикационных схем.

По КФС и АФС детального уровня генерализации выявляются особенности морфологии и морфометрии форм рельефа и их элементов, что позволяет не только детально изучить и закартировать отдельные очаги проявления экзогенных процессов, но и выявить их связи с отдельными элементами геоморфологической, геолого-литологической и гидрогеологической обстановки. Это дает возможность установить стадии развития экзогенных процессов, построить эволюционные ряды их развития, количественно оценить степень их активности. Информация этих снимков используется для составления детальных инженерно-геологических карт, отражающих динамику развития процессов и позволяющих осуществлять пространственный прогноз [111, 130, 132].

Основными дешифровочными признаками служат конфигурация экзогенных форм рельефа и их размеры, определяемые при стереоскопическом дешифрировании. Рисунок фотоизображения играет незначительную роль, так как большая часть распознаваемых объектов находит дифференцированное отображение. Сравнительно неустойчивым признаком является фототон, поскольку он определяется в значительной степени техническими условиями фотосъемки и метеорологическими факторами. Так, аэрофотосъемка крупных регионов проводится в разное время суток, при различной освещенности фотографируемых объектов. Обработка отснятых аэрофильмов часто осуществляется в различных технических условиях. Все это влияет на фототон, определяя его вариации.

Получаемая при дешифрировании КФС разных уровней генерализации информация находит применение в решении инженерных задач, например таких, как проектирование крупных инженерных сооружений, охрана геологической среды.

На начальных этапах проектирования целесообразно использование КФС регионального уровня генерализации, даю-

щих представление о распространении основных типов экзогенных процессов на обширных площадях. При этом можно отметить наиболее безопасные площади в отношении развития неблагоприятных экзогенных процессов. Использование в дальнейшем КФС локального уровня генерализации поможет конкретизировать положение участков, перспективных для проектирования инженерных сооружений, в зависимости от морфо-структурных, геолого-литологических и гидрогеологических условий. И, наконец, материалы АФС и КФС детального уровня генерализации позволят получить информацию об интенсивности развития экзогенных геологических процессов на различных участках. Эти данные могут быть использованы при разработке прогнозов их развития.

**ПУТИ ОЦЕНКИ ИНФОРМАТИВНОСТИ
КОСМОФОТОСНИМКОВ
И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПРАКТИКЕ
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ***

В настоящее время при характеристике эффективности гидрогеологической и инженерно-геологической съемки принято различать отраслевую и народнохозяйственную эффективность проведенных исследований. Под отраслевой эффективностью понимается результат съемочных работ на различных этапах их выполнения. Характеризуется эта эффективность объемом и качеством выполнения геологического задания, а также затратами на их производство. Определяется отраслевая эффективность сопоставлением фактических затрат с расчетными или нормативными. Народнохозяйственная эффективность определяется конечным производственным эффектом, который получает народное хозяйство от проведения исследований [57].

Использование космических снимков при среднемасштабных гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях может дать, по нашему мнению, как отраслевой, так и народнохозяйственный эффект. В обоих случаях эффект будет обусловлен особенностью гидрогеологической и инженерно-геологической информации, содержащейся в космических снимках. С точки зрения влияния на повышение эффективности работ информацию можно подразделить на три части.

Первая часть будет соответствовать информации, содержащейся в материалах космофотосъемки. Экономический эффект от ее использования будет обусловлен здесь сокращением времени на предполевое и послеполевое дешифрирование за счет

* Раздел подготовлен при участии М. И. Бурлешина.

резкого уменьшения (почти в 20 раз) количества дешифрирующихся снимков.

Вторая часть космической информации будет перекрывать информацию, получаемую другими методами исследований: бурением, проходкой шурфов и т. п. Использование космических снимков позволит несколько уменьшить объем этих работ в общем комплексе гидрогеологических и инженерно-геологических исследований. Например, часть шурфов, требующихся для прослеживания изменений в литологии рыхлых отложений, можно сократить, используя для этих целей космический фотоснимок. Наконец, последняя часть информации космических снимков может быть отнесена к разряду принципиально новой, получить которую другими методами исследований сложно, а в некоторых случаях невозможно.

Экономический эффект от использования первых двух видов информации можно оценить, применяя уже имеющуюся в гидрогеологии методику подсчета отраслевой эффективности. Третья часть информации может быть оценена только по ее народнохозяйственному эффекту. Оценить его значительно сложнее, но именно с использованием этого вида информации большинство авторов связывают основной экономический эффект от применения в геологии космических снимков [14, 25, 46, 55, 57, 137, 138, 148, 149].

Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования осуществляются для решения конкретных народнохозяйственных задач (проектирования объектов промышленного и гражданского строительства, решения вопросов мелиорации, водоснабжения и т. д.). В процессе проведения таких работ собирают информацию о гидрогеологических и инженерно-геологических условиях местности, которая впоследствии используется в других отраслях народного хозяйства, принося определенный экономический эффект.

Следовательно, народнохозяйственный экономический эффект от использования космических снимков при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях будет определяться денежным выражением суммарного положительного эффекта от применения полученной информации в различных отраслях хозяйства, отнесенного к общим затратам на получение и обработку космических снимков. Отсюда следует, что оценка народнохозяйственного эффекта служит межотраслевой проблемой и не может решаться в рамках гидрогеологических исследований. По нашему мнению, задачей отрасли является такая характеристика, получаемая от космических снимков гидрогеологической и инженерно-геологической информации (например, достоверности), без знания которой нельзя будет даже в межотраслевых исследованиях оценить народнохозяйственный эффект. В связи с этим в дальнейшем мы сосредоточим

внимание на выявлении комплекса оценочных характеристик информативности КФС.

При оценке эффективности применения КФС в гидрогеологии и инженерной геологии необходимо учитывать уже существующие подходы к решению этой проблемы в других отраслях геологии, прежде всего в геологической съемке. Наиболее полно раскрываются различные стороны оценки эффективности аэрокосмических методов в работах В. Н. Брюханова [14], А. И. Бурдэ [15], Б. В. Виноградова и Ал. А. Григорьева [26], В. К. Еремина [56, 57], Д. М. Трофимова и др. [148, 149].

Анализируя результаты работ в этом направлении, можно заключить, что для объективной оценки эффективности применения космических снимков в геологии необходимо оценить следующие аспекты их использования: качество или обоснованность полученных результатов, содержание полученного результата, полезность полученного результата для решения основной отраслевой задачи, обеспечение промышленности полезными ископаемыми, совершенствование технологического процесса геологосъемочных работ и снижение стоимости проведенных работ.

Для повышения объективности оценки экономического эффекта использования космических снимков при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях представляется необходимым охарактеризовать следующие аспекты: количество и качество информации, содержащейся в гидрогеологических и инженерно-геологических картах или схемах дешифрирования; полезность информации, карты или схемы дешифрирования в решении конкретных отраслевых задач; скорость и стоимость получения информации гидрогеологической и инженерно-геологической карты или схемы дешифрирования.

Под количеством информации гидрогеологической или инженерно-геологической карты понимается число изображенных на ней объектов и их свойств. В зависимости от особенностей решаемых задач такая характеристика может быть дана подробно или обобщенно. В случае подробной характеристики сравниваются таблицы, в которых отражаются количество видов объектов и число объектов каждого вида.

Качество информации среднемасштабной гидрогеологической или инженерно-геологической карты, составленной по материалам КФС, можно оценить на основе сравнения ее с картой, составленной с помощью традиционных наземных методов.

Такая карта условно может считаться «эталонной», абсолютно правильно отражающей гидрогеологические условия. Показателями качества могут служить: достоверность карты — отношение выявленных объектов (или их свойств) на схеме дешифрирования, совпадающих с объектами на эталонной карте, ко всем объектам этого типа, отраженных на схеме дешифрирования; полнота карты — отношение выявленных объектов (или их свойств) на схеме дешифрирования ко всем

объектам этого типа, изображенным на эталонной карте; точность характеристик, т. е. степени совпадения каждого объекта на схеме дешифрирования с объектом на эталонной карте.

В случае отсутствия эталонной карты аспект качества информации можно заменить аспектом ее обоснованности, понимая под ним вероятностную характеристику связи компонентов ландшафта, отрисованных на схемах аналитического и синтетического дешифрирования (геоморфологической, поверхностного стока, структурно-тектонической, ландшафтной и т. д.), с элементами гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки, изображенными на соответствующих картах. Полезность информации определяется важностью ее в решении конкретной народнохозяйственной задачи. Характеристика этого аспекта использования космических снимков выходит за пределы отрасли и должна быть дана в процессе межатраслевых исследований.

Для повышения эффективности гидрогеологической и инженерно-геологической съемок большое значение имеют методические аспекты получения информации. Использование космических снимков повышает скорость проведения отдельных видов геологосъемочных работ, оценивающуюся аспектом скорости получения информации. Сокращение трудозатрат и замена относительно дорогостоящих видов работ характеризуется стоимостью получения информации.

В опубликованной литературе, посвященной анализу возможностей космических снимков в решении геологических задач, часто используются термины «геологическая информация», «объем информации», «количество информации» и т. д. Сложность проблемы оценки геологической информативности космических снимков рассматривается в работе Д. М. Трофимова [149]. Наиболее часто под понятием информация снимка понимается совокупность сведений, получаемых при его обработке. По возможностям оценки информацию можно подразделить на качественную и количественную. В настоящее время большая часть извлекаемой из космических снимков информации носит качественный характер, она включает в себя данные о свойствах объектов, выражающихся в тексте или рисунке. В силу своей субъективности эту часть информации трудно использовать для оценки возможностей космических снимков в решении гидрогеологических и инженерно-геологических задач. Более объективные данные можно получить при сравнении информации, записанной в цифрах или представленной в виде графиков и формул. Перевод информации в количественную форму значительно обедняет ее содержание, зато повышает объективность сравнения и дает возможность применить при ее оценке математический аппарат.

В настоящем разделе рассматривается количественная сторона информации снимка, а также схем дешифрирования: ана-

литических и синтетических результирующих в соответствии с рассмотренной нами методикой дешифрирования КФС.

Комплекс гидрогеологических и инженерно-геологических карт-схем рассматривается как канал связи между природными объектами на местности и наблюдателем. Космофотоснимок в этом случае является совокупностью закодированной информации о природных условиях местности, поступающей в канал связи. В процессе прохождения этой информации по каналу связи происходит последовательное ее преобразование. Сначала из всей информации снимка выделяется информация о физиономических компонентах ландшафта, связанных с гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями. Затем происходит систематизация этой информации и преобразование ее в ландшафтную, индицирующую те или иные гидрогеологические и инженерно-геологические условия. При выходе информации из канала связи происходит окончательное ее раскодирование и оформление в виде гидрогеологической и инженерно-геологической карты.

В соответствии с особенностями преобразования информации можно выделить три основных уровня ее оценки: космический фотоснимок, промежуточные результаты дешифрирования, гидрогеологическая и инженерно-геологическая карта. Такой подход к оценке гидрогеологической и инженерно-геологической информации позволяет использовать для ее подсчета математический аппарат теории информации, разработанный для оценки пропускной способности каналов связи [77, 96].

Таким образом, при оценке возможности использования космических снимков целесообразно рассматривать отдельно три разновидности информации: а) количество информации снимка ($I_{кс}$); б) количество информации аналитических ($I_{ас}$) и синтетических ($I_{сс}$) карт-схем и в) количество информации результирующих гидрогеологической ($I_{гг}$) и инженерно-геологической карт-схем ($I_{иг}$).

Полученные количественные характеристики можно использовать в решении различных задач, возникающих при дешифрировании космофотоснимков. При оптимально выбранной методике дешифрирования отношение информации последнего этапа дешифрирования по составлению гидрогеологических и инженерно-геологической карт-схем к информации предыдущих этапов должно быть максимальным

$$\frac{I_{гг} + I_{иг}}{I_{кс} + \sum I_{ас} + \sum I_{сс}} = \max.$$

Сравнение информативности результирующих карт-схем, составленных по материалам дешифрирования ($I_{гг}$, $I_{иг}$), и карт, получаемых наземными методами ($I_{н}$), осуществляется для выявления роли аэрокосмических методов в общем процессе гидрогеологической и инженерно-геологической съёмки. Величина

отношения количества информации, получаемой с космофото- снимков, к количеству информации, полученной с помощью на- земных видов исследований или всего комплекса съемочных работ, должна быть максимальной

$$\frac{I_{\text{иг}} + I_{\text{гг}}}{I_{\text{к}}} = \max.$$

Анализ работ по использованию теории информации для ко- личественной характеристики дешифровочных схем и собствен- но снимков показывает, что возможно дать оценку информаци- онной емкости либо легенды карты, либо самой карты, либо дать обобщенную их характеристику [46, 44].

При оценке дешифровочных схем обычно характеризуется информативность системы, состоящей из линейных или площад- ных элементов [44, 96]. При совместной оценке количества ин- формации, заключенной в карте и легенде, производится оцен- ка легенды, а также дополнительно учитываются количество изображенных на схеме объектов каждого вида и особенности их пространственного распределения по площади.

Аналогичным образом можно учитывать и количество ин- формации, заключенной в собственно снимках. Характеристика легенды отвечает здесь оценке информативности снимка в за- висимости от его разрешающей способности.

Практически количественная оценка гидрогеологической или инженерно-геологической информации, содержащейся в дешиф- ровочных схемах, включает в себя два этапа. Во время первого этапа графическое изображение схемы переводится в цифро- вую форму. Для этого на основе легенды (или схемы) состав- ляется таблица, в которой записываются все геологические объекты легенды, их свойства и градации этих свойств. Затем на карте-схеме осуществляется подсчет количества объектов каждого вида и определяются меры длин оконтуривающих их границ.

Полученные данные оформляются в виде таблиц, в которых по вертикали откладываются объекты, их свойства и градации, нашедшие отражение в легенде и на карте, а по горизонтали — количество этой информации, зафиксированное на дешифровоч- ных схемах. Причем, если оценивается информативность раз- номасштабных космофотоматериалов, то количество информа- ции дается отдельно по каждому масштабу.

Логическое обоснование использования формул теории ин- формации при подсчете ее объема содержится в работе А. Д. Урсула [151]. Оценка информации, по мнению этого ав- тора, связывается с разнообразием сведений. В свою очередь разнообразие есть по меньшей мере отношение двух элементов. Трактовка количества информации как количества разнообра- зия вполне естественно позволяет объяснить введение логариф- мической меры. При этом разнообразие может быть измерено

как число различных элементов и как логарифмы этого числа.

Введение логарифмической меры для оценки количества информации, содержащейся на картах-схемах, соответствует и актуальным представлениям о снижении информационной ценности каждого из картируемых объектов по мере возрастания их общего числа.

Формулы для оценки информативности легенд гидрогеологической и инженерно-геологической карт можно вывести из общих формул для оценки объема информации легенд географических карт [44].

Они будут иметь вид

$$I = \log (N_1 D_1 + N_2 D_2 + \dots + N_n D_n),$$

где N_1, \dots, N_n — количество градаций каждого вида объектов или явлений, изображенных на карте; D_1, \dots, D_n — количество градаций показателей этих объектов или явлений.

Для оценки количества информации, заключенной в рисовке контуров, можно взять за основу методику Ю. К. Неумывакина [96], несколько видоизменив ее. В этом случае информативность будет вычисляться по формулам

$$I = \sum_m^i \log n \cdot \log D;$$

$$I = \sum_m^i \log l \cdot \log D;$$

$$I = \sum_m^i \log s \cdot \log D,$$

где n , l , s — соответственно число объектов каждого вида, изображенного на карте, или длина их контуров, или их площадь; D — число показателей, характеризующих каждый контур; m — число видов объектов.

Предложенный подход количественной оценки информации может быть использован при сравнении гидрогеологических и инженерно-геологических карт и схем, составленных по материалам космофотосъемки, с эталонными материалами.

Часть III

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ КОСМОФОТО- И ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СЪЕМОК ПРИ РЕШЕНИИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ (на примере Устьюртского космогеологического полигона)

Глава 5

РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОГО УРОВНЯ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ С ЦЕЛЮ МЕЛКОМАСШТАБНОГО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Телевизионные изображения, полученные с ИСЗ, охватывают площади от нескольких сотен до нескольких миллионов квадратных километров. В настоящее время применяется два типа телевизионных изображений по степени их наземного разрешения. Условно их подразделяют на снимки с малым и средним разрешением, что обуславливает и различает их масштабы. Малым разрешением обладают снимки в масштабах мельче 1:5 000 000, а средним — снимки в масштабах 1:1 000 000—1:5 000 000. Примером снимков малого разрешения являются телевизионные изображения, полученные с ИСЗ серии «Метеор-1—25», «Космос», «Нимбус», а среднего разрешения — «Лэндсат», «ЕРТС».

Съемка со спутников «Метеор-1—10» осуществлялась с высоты 680—720 км в масштабе 1:7 000 000 с разрешением 2—

6 км. Последующие ИСЗ серии «Метеор» отличаются хорошим качеством телевизионных изображений. Снимки с ИСЗ «Метеор-18» имеют разрешение на местности 1,5—2 км несмотря на то, что масштаб их мельче 1 : 10 000 000. Снимки, полученные с американского ресурсного спутника ЕРТС, имеют масштаб 1 : 1 000 000 и разрешение на местности 100 м [12].

Другой особенностью телевизионных съемок является то, что в последние годы они производятся в различных зонах видимой части спектра, что позволяет получить многозональные изображения. Так, съемка с ИСЗ «Метеор-18» проводилась в четырех диапазонах: 0,5—0,6; 0,6—0,7; 0,7—0,8 и 0,8—1,0 мкм. Съемка со спутника ЕРТС также осуществлялась с помощью четырехканального сканирующего устройства.

Согласно методическим положениям, рассмотренным в предыдущей главе, при дешифрировании телевизионных снимков ландшафтная индикация сводится к выявлению, типизации морфосистем и их элементов и к последующей гидрогеологической и инженерно-геологической интерпретации этих данных. В соответствии с этим методическое дешифрирование телевизионных снимков складывается из нескольких последовательно сменяющих друг друга операций: разработки диагностического аппарата распознаваемых объектов; структурно-геоморфологического дешифрирования; гидрогеологической и инженерно-геологической интерпретации результатов структурно-геоморфологического дешифрирования.

В качестве эксперимента по выявлению возможностей телевизионной съемки в гидрогеологии и инженерной геологии нами проводилось дешифрирование некоторых снимков системы «Метеор» в различных спектральных интервалах. Ниже рассмотрены результаты этого эксперимента.

ДЕШИФРИРОВАНИЕ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Эксперимент проводился с использованием серии телевизионных снимков плато Устюрт, полученных с ИСЗ «Метеор-18» (витки: 335 от 2/VIII 1974 г. и 1499 от 24/X 1974 г.) в четырех зонах видимой части спектра: 0,5—0,6; 0,6—0,7; 0,7—0,8 и 0,8—1,0 мкм. Масштаб изображений 1 : 14 000 000. Один снимок такого масштаба охватывает площадь 6 272 000 км², при этом площадь плато Устюрт, полностью отображенного на этом снимке, составляет 308 700 км² (рис. 9).

Информативность изображений, полученных в разных зонах спектра, неодинакова. В интервале 0,5—0,6 мкм отчетливо проявляется конфигурация складчатых структур II порядка, что затруднительно при дешифрировании снимков в других спектральных интервалах. За счет тональных особенностей мож-



Рис. 9. Телевизионный снимок Арало-Каспийского региона, полученный с искусственного спутника Земли «Метеор-18»

но оконтурить площади Северо-Устьюртского прогиба, Актумсыкского поднятия. По фототону на данном снимке можно выделить лишь черный, темно-серый и серый оттенки. Светло-серый оттенок на этом снимке не проявляется.

Вместе с тем яркостные характеристики изображений в этом спектральном интервале не могут служить дешифровочным признаком. Вследствие этого затруднительно дешифрирование морфоскульптуры современного рельефа. Так, почти неразличи-

мы песчаные массивы, о существовании и конфигурации которых можно судить лишь по солончакам, выраженным весьма расплывчатыми контурами. Невозможно при анализе снимка в зоне 0,5—0,6 мкм осуществить и дешифрирование крупных эрозионных и карстовых проявлений. В целом информативность данного снимка в отношении дешифрирования геологических объектов представляется нам весьма низкой, хотя использование его в качестве дополнительного материала необходимо. Это доказывается рассмотренным выше примером выделения по этому снимку границ Северо-Устьюртского прогиба, что невозможно было установить при анализе снимков в других спектральных зонах. Снимки в диапазоне 0,5—0,6 мкм наиболее целесообразно использовать при гидрогеологическом районировании территорий.

Снимок в интервале 0,6—0,7 мкм наиболее информативен. Здесь в равной степени можно оперировать дешифровочными признаками (тональностью, контрастностью и конфигурацией объектов, а в ряде случаев можно классифицировать и структуру изображения). Например, пятнистость в песчаных массивах и гомогенность солончаков очень четко контрастируют друг с другом, что позволяет уверенно устанавливать границы их распространения, используя для этого шкалу тонов. Фототон на этом снимке изменяется от почти черного до очень светлого, включая светло-серый, серый и темно-серый оттенки. В соответствии с этим данный снимок позволяет получить информацию при дешифрировании особенностей гидродинамики подземных вод и выявлении участков с близким от поверхности залеганием грунтовых вод.

В зонах 0,7—0,8 и 0,8—1,0 мкм, различие которых малоощутимо, характер изображения поверхности значительно меняется. Менее отчетливыми становятся контуры объектов за счет сгущения тонального диапазона, из которого исчезает светлый тон, в связи с чем даже поверхности солончаков проявляются светло-серыми оттенками. Однако более отчетливо здесь дешифрируются дизъюнктивные нарушения. Последнее связано с тем, что в данном диапазоне спектра создается возможность просвечивания глубинной структуры земной коры за счет снятия маскирующей роли поверхностных элементов (почвенно-растительного покрова и маломощного рыхлого чехла). Это позволяет осуществлять оценку гидрогеологической роли дизъюнктивов.

Таким образом, наиболее информативными для целей гидрогеологии и инженерной геологии являются снимки, полученные в диапазоне 0,6—0,7 мкм. При этом целесообразно использование комплекта многозональных снимков, что существенно повышает достоверность дешифрирования. Подробнее результаты дешифрирования многозональных снимков приведены ниже.

СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ

Геолого-структурная интерпретация телевизионных изображений на плато Устюрт впервые была проведена С. М. Богородским [13]. Им отдешифрованы контуры распространения разновозрастных пород и системы региональных линейментов, соответствующие крупным системам разрывных нарушений.

Нами осуществлено дешифрирование этих снимков с целью выявления морфосистем Устюрта для интерпретации их в дальнейшем в гидрогеологических и инженерно-геологических целях. Современный рельеф Устюрта в целом отвечает структурному плану территории [71, 72]. Так, почти все морфоструктуры II порядка находят прямое выражение в рельефе. Например, геоморфологическим выражением Центрально-Устюртского поднятия являются увалы Карабаур и Музбель, а Северо-Устюртского, Барса-Кельмесского и Ассаке-Ауданского прогибов — впадины Косбулак, Сам, Асмантай-Матай, Барса-Кельмес, Ассаке-Аудан. Что же касается морфоструктур III порядка, то для них характерно в большинстве случаев инверсионное выражение в рельефе. Обращенные морфоструктуры представлены впадинами меньшего размера. Они глубоко врезаны и ограничены крутыми обрывистыми склонами. Эти впадины приурочены к положительным локальным структурам, осложняющим крылья морфоструктур более крупного порядка. Они обязаны своим происхождением в основном карстовым процессам [72, 78, 162]. К таковым относятся впадины Шорджа, Шахпахты, Карашор, Карын-Ярык и др.

На телевизионном снимке все эти структуры опознаются благодаря элементам морфоскульптуры, имеющим индикационное значение. Морфоскульптуру плато Устюрт формируют экзогенные процессы, играющие большую роль в формировании современного рельефа.

Среди экзогенных процессов на плато Устюрт получили широкое развитие карстово-суффозионные, эоловые, эрозионно-аккумулятивные, гравитационные и процессы засоления.

На телевизионных снимках по тональным и структурным особенностям изображения отчетливо выявляются участки распространения определенных типов морфоскульптуры. Так, выявлено, что участки регионального засоления приурочены к наиболее вогнутым частям прогибов (морфосистемы засоления) и четко дешифрируются по очень светлому фототону, четкости контуров и гомогенности структуры изображения, причем более уверенно в зоне 0,6—0,7 мкм. Солончаки в большей своей части приурочены к наиболее вогнутым частям крупных прямых синклинальных прогибов и впадин (Барса-Кельмес, Асмантай-Матай, Косбулак и т. д.). Однако в некоторых случаях они могут быть приурочены и к днищам инверсионных структур. Так, со-

лончаки Кумсебшен, Ащиктайпак, Казахлы и Карашор занимают сводовые части одноименных поднятий. В этом случае они отличаются по характеру изображения. Основными дешифровочными признаками их являются обособленность, островной характер развития и более резкие границы, чем у солончаков, расположенных в днищах крупных впадин. Эти солончаки хорошо дешифрируются на снимках во всех четырех зонах спектра.

Карстово-эрозионные процессы в своем развитии тяготеют к крыльям положительных структур. Крупнейшие котловины карстового происхождения в ряде случаев расположены в сводовых частях положительных структур и на флексуобразных перегибах (карстовые морфосистемы) и создают инверсию рельефа на этих участках (впадины Шахпахты, Шорджа). Карстовые формы создают на снимках неравномерно пятнистую структуру, причем фототон пятен более темный по сравнению с фототонном участков, расположенных между пятнами. Это особенно четко видно на снимках в зоне 0,6—0,7 мкм. Наибольшее распространение закарстованные участки имеют в пределах Центрально-Устьюртского и Актумсыкского поднятий.

Эрозионные процессы дешифрируются по полосчатости изображения, создаваемой долинами временных водотоков. Фототон их обычно светло-серый. Такыры в своем развитии приурочены к отрицательным локальным морфоструктурам III порядка (морфосистемы такырной аккумуляции) и часто контролируют разрывные тектонические нарушения. Крупный такыр «Баймен», расположенный в сводовой части Карабаурского поднятия, приурочен к локальному грабену, заложенному по линиям региональных разломов, которые контролируются серией такыров более мелкого порядка. Характерной чертой изображения такыров на снимках является их четкая конфигурация обычно неправильной формы. Причем дешифрируются не отдельные такыры и даже не группы такыров, а целые такырные системы. Структура изображения в целом пятнистая, внутри пятен однородная. Пятнистость обусловлена тем, что такырные системы состоят из большого количества отдельных такыров и их группировок, которые расположены на расстоянии друг от друга. Генерализация изображения сводит эти расстояния до минимума, за счет чего на снимке получает отображение целая система такыров.

Эоловые процессы приурочены в своем развитии к синклинальным прогибам (эоловые морфосистемы). Так, Учтаганский песчаный массив расположен в Учтаганском прогибе, пески Сам и Матайкум выполняют наиболее вогнутые части Северо-Устьюртского прогиба. Песчаные массивы дешифрируются по специфической расплывчатости изображения с мелкозернистой структурой, создающей темный крап на сером и светло-сером

фоне, что особенно уверенно дешифрируется на снимках в зоне 0,6—0,7 мкм.

Помимо складчатых структур, выраженных в современном рельефе, нами было проведено дешифрирование разрывных тектонических нарушений трех основных направлений: северо-западного, северо-восточного и субширотного. Наиболее четко они проявляются на снимке в зоне 0,8—1,0 мкм по смене фототона в виде узких полос. Геоморфологическими индикаторами дизъюнктивных нарушений являются: цепочки линейно-вытянутых останцов, такыров, карстовых форм, коленчатые изломы в очертаниях структур, долин, береговой линии, чинков Устюрта. Среди выделенных разрывных нарушений большая часть подтверждена геолого-геофизическими исследованиями [13, 95, 146, 168]. Некоторые отдешифрованные нами разрывные нарушения имеют предположительный характер, поскольку данных наземных исследований, подтверждающих их существование, не имеется (рис. 10).

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ *

При первом ознакомлении со снимками с ИСЗ «Метеор-18» и попытках охарактеризовать приблизительно гидрогеологическую и инженерно-геологическую обстановку региона легко определить, что изучаемый район находится в аридной зоне (нет постоянных водотоков, развиты громадные впадины, территория открыта — без крупнокустарниковой и древесной растительности). Затем, интерпретируя результаты структурно-геоморфологического дешифрирования, находим, что выделенным морфосистемам соответствуют гидрогеологические районы II порядка (Северо-Устюртский, Центральнo-Устюртский, Барса-Кельмесский и Южно-Устюртский) [39, 40, 41] и инженерно-геологический регион II порядка [165]. Так, например, Северо-Устюртский гидрогеологический район пространственно совпадает с границами эоловой морфосистемы Устюрта, Барса-Кельмесский район совпадает с границей солончаковой морфосистемы и т. п.

Таким образом, выявляется прямая связь между морфотектоникой, гидрогеологией и инженерной геологией, что позволяет использовать морфосистемы и их элементы в качестве индикаторов гидрогеологических и инженерно-геологических условий. Анализируя результаты индикационного анализа, изложенного в табл. 8, можно выделить крупные геоструктурные

* При написании раздела использованы материалы Н. С. Семиной.

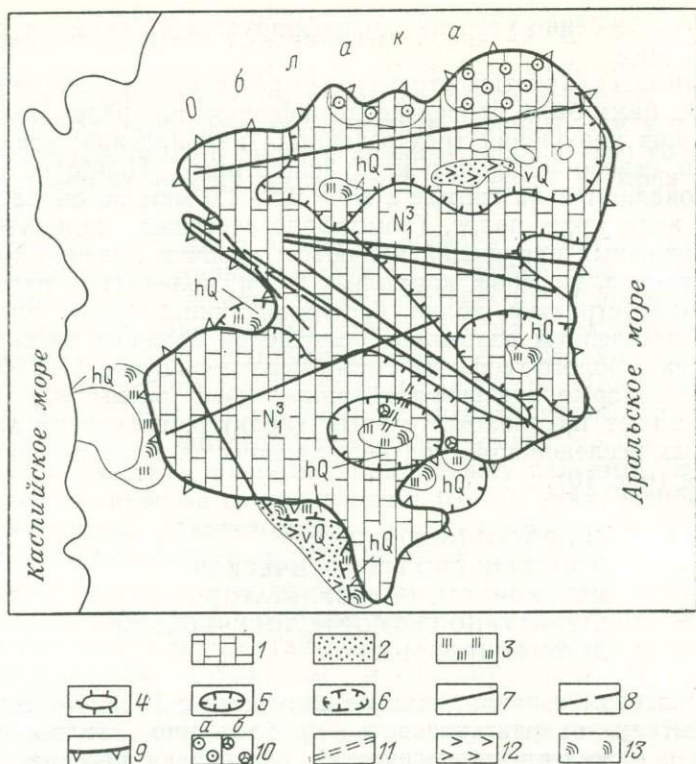


Рис. 10. Схема инженерно-геологического дешифрирования телевизионного снимка с ИСЗ «Метеор-18» (плато Устюрт).

Формации дочетвертичных пород: 1 — карбонатная. Верхнемиоценовые известняки, мергели, глины. Четвертичные отложения: 2 — эоловые осадки (пески); 3 — хемогенные отложения солончаков (илы, гипсы, соли). Структурно-геоморфологические элементы: 4 — прямые положительные морфоструктуры; 5 — прямые отрицательные морфоструктуры; 6 — обращенные отрицательные морфоструктуры (инверсионные); 7 — линейменты, связанные с дизъюнктивной тектоникой, подтвержденные данными наземного обоснования; 8 — линейменты, связанные с дизъюнктивной тектоникой, выявленные при дешифрировании; 9 — структурно-денудационные уступы, выработанные в карбонатных породах (чинки плато); 10 — участки распространения экзогенных процессов: а — карстовые котловины типа «урпа»; б — крупные впадины карстового генезиса; 11 — эрозионно-карстовые долины; 12 — эоловые формы рельефа; 13 — солончаковые впадины

комплексы, выраженные в современном рельефе, соответствующие структурам I и II порядков, инженерно-геологические формации горных пород, системы разрывных нарушений, области регионального развития засоления и эоловых процессов, карста, такырные системы (см. рис. 10), участки обводненных четвертичных отложений, области питания, транзита и разгрузки грунтовых вод, а также определить глубины их залегания в интервалах 0—2; 0—5 и более 5 м.

Основные площади питания грунтовых вод выделены на увалах Карабаур, Музбель, Актумсык, в песчаных массивах Северо-Устюртского прогиба и сорowych понижениях, остальная

поверхность плато является дополнительной площадью питания, так как часть атмосферной влаги идет на поверхностный сток, направленный в наиболее пониженные, часто затакыренные участки, и там одновременно медленно просачивается и испаряется. Зоны транзита грунтовых вод выявляются по выделенным закарстованным долинам (карстовые и эрозионные морфосистемы). Такие долины расположены по северному и южному склонам увала Карабаур (по направлению к солончаку Барса-Кельмес и впадине Ассак-Аудан) у южного подножия увала Музбель.

Карстово-суффозионные морфосистемы в районе Мынсуал-масского поднятия, где широко распространены котловины типа «Урпа», характеризуют движение грунтовых вод к северным чинкам плато, где происходит их разгрузка и аккумуляция в пониженных местах соров (рис. 11).

В солончаковых морфосистемах происходит накопление и разгрузка грунтовых вод. Все солончаковые впадины Устюрта оконтурены ореолами темного фототона с четкими границами — это участки с неглубоким залеганием подземных вод — 1—5 м (рис. 12).

Ассак-Ауданская впадина не замкнутая, в связи с чем регионального засоления в ней не происходит [18]. Грунтовые воды, формирующиеся на увале Карабаур, имеют частичную разгрузку во впадине, а затем продолжают движение к Сарыкамышской впадине, где и осуществляется окончательная разгрузка. Отдешифрированные системы линеаментов, связанные с дизъюнктивной тектоникой, имеют большое значение для гидрогеологической интерпретации телевизионных изображений. Анализируя тональные и структурные особенности фотоаномалий разрывных нарушений, возможно произвести оценку их влияния на условия формирования подземных вод и установить характер обводненности зон разломов.

Так, Н. С. Семиной [103] при анализе снимков в зоне 0,8—1,0 мкм выделены два типа линеаментов по особенностям фотоизображения: линеаменты светло-серого фототона шириной до 2 мм и линеаменты темного фототона шириной до 1—2 мм.

Линеаменты светло-серого фототона, индицирующие зоны разломов шириной до 2 мм возможно показывают, что по ослабленной (перематой) зоне происходит усиленное просачивание атмосферной влаги (образуются хорошо промытые зоны). Линеаменты этого характера приурочены к понижениям рельефа. Характерно, что этим участкам соответствуют незасоленные почвы. Линеаменты темного фототона индицируют зоны глубинных разломов шириной 1—2 мм и имеют определенное гидродинамическое значение. Они индицируют участки разгрузки глубоких водоносных горизонтов в вышележащие (региональная восходящая фильтрация юрских и меловых водоносных комплексов наблюдается по Центрально-Устюртскому, Шахпахтин-

Таблица 8

Индикаторы и дешифровочные признаки гидрогеологических дешифрирования многозональных телевизионных изображений

Индикаторы		Наименование и номер гидрогеологического района	Объекты
Морфоструктурные элементы	Морфоскульптурные элементы		Краткая характеристика гидрогеологических условий (рассматривается 1-й от поверхности водоносный горизонт $I_{вг}$)
Мынсуал-масское поднятие	I. Равнины плоские с многочисленными карстово-суффозными понижениями типа „урпа“	I. Северо-Устюртский	Местная область питания и транзит подземных вод в областях разгрузки (северный чинк и солончаковые понижения). Соленоватые воды. Глубина залегания $I_{вг}$ 3—5 м
Северо-Устюртская система впадин	II. Равнины волнистые с крупными сорными понижениями и массивами бугристых, реже грядовых песков		Основная область питания и региональной разгрузки подземных вод в солончаковых понижениях. Участки, примыкающие к солончаковым понижениям, имеют внутригрунтовое испарение. Пресные воды (песчаные массивы), 8—35 г/л (участки внутригрунтового испарения), соленоватые (в понижениях). Глубина залегания $I_{вг}$ 3—5; 5—10 и более 10 м
Актумсыкский увал	III. Равнины волнистые с широким развитием такырных систем		С северного склона Актумсыкского поднятия подземный и поверхностный стоки направлены в Северо-Устюртскую впадину, с Южного — в Барса-Кельмескую. Соленые воды. Глубина залегания $I_{вг}$ более 5 м

и инженерно-геологических условий плато Устюрт (по материалам «М-18»)

Индикации	Дешифровочные признаки				Примечание
	Краткая характеристика инженерно-геологических условий	Тон изображения	Структура изображения	Характер очертания	
Элювиальные щебнисто-суглинисто-супесчаные отложения мощностью до 3 м, подстилаемые известняками сармата. Развивается карст и суффозия	Темный с серыми пятнами	Неравномернопятнистая	Границы нечеткие	Дешифрируется уверенно	
Эоловые отложения песчаных массивов мощностью до 30 м. Хемогенные отложения солончаков мощностью до 5 м. Подстилаются глинами, мергелями и известняками сармата. Развивается засоление в солончаках и перевеивание на незакрепленных участках песков	Темный с серыми и белесыми пятнами	В солончаках гомогенная. В песчаных массивах зернистая	Границы района нечеткие, контуры белесых пятен солончаков резкие	То же	
Элювиальные щебнисто-суглинистые отложения мощностью до 2 м. Проллювиальные суглинистые отложения мощностью до 2 м. Подстилаются известняками сармата. Развиваются такырообразование и карст	Темно-серый	Пятнистая	Границы нечеткие	Дешифрируются неуверенно	Для дешифрирования необходимо привлечение дополнительных материалов

Индикаторы		Наименование и номер гидрогеологического района	Краткая характеристика гидрогеологических условий (рассматривается 1-й от поверхности водоносный горизонт $I_{вг}$)
Морфоструктурные элементы	Морфоскульптурные элементы		
Барса-Кельмеская впадина	IV. Глубоковрезанные бессточные впадины с многочисленными затакыренными солончаковыми понижениями и крупными карстовыми провалами	II. Барса-Кельмеский	Область питания, транзита и региональной разгрузки подземных вод (солончак Барса-Кельмес), со всех сторон наблюдается внутригрунтовое испарение. Соленые воды. Глубина залегания $I_{вг}$ 0—3; 3—5 и более 5 м
Карабаурский и Музбельский увалы	V. Равнины увалистые, сильно расчлененные многочисленными затакыренными понижениями	III. Центрально-Устюртский	Центральная часть увала Карабаур сдренирована и $I_{вг}$ отсутствует. Атмосферные осадки частично расходуются на поверхностный сток, а просачивающаяся часть движется в сторону Барса-Кельмеского и Южно-Устюртского гидрогеологических районов, у южного и северного подножия увала грунтовые воды с разной степенью минерализации (5—10 г/л); у северного подножия с повышенной минерализацией за счет разгрузки по разлому высокоминерализованных вод меловых отложений. Глубина залегания $I_{вг}$ более 50 м

индикации	Дешифровочные признаки					Примечание
	Краткая характеристика инженерно-геологических условий	Тон изображения	Структура изображения	Характер очертания	Степень дешифрируемости	
В днищах впадин хемогенные отложения мощностью до 20 м. Борты впадин обнажены. Выходят глины палеогена, известняки и мергели сармата и тортона. По бортам впадин интенсивно развиваются гравитационные и эрозионные процессы. На участках плато, прилегающих к впадине, развит карст	Серый до темно-серого с белесыми пятнами	Неравномернопятнистая, на солончаках гомогенная	Границы нечеткие, контуры солончаков резкие	Дешифрируются уверенно	По фототону, району близок к Карабаур-Музбелю	
Элювиальные, делювиальные, элювиально-делювиальные, щебнисто-суглинистые отложения мощностью до 3 м, подстилаемые известняками сармата. Развиваются эрозия, такырная аккумуляция, карст	Темно-серый с серыми пятнами	Чуть заметная полосчатость	Границы района четкие	Дешифрируются неуверенно		

Индикаторы		Наименование и номер гидрогеологического района	Краткая характеристика гидрогеологических условий (рассматривается 1-й от поверхности водоносный горизонт $I_{вг}$)
Морфоструктурные элементы	Морфоскульптурные элементы		
Южный склон увала Карабаур	VI. Равнины волнистые, расчлененные оврагами, часто с останцовыми буграми	IV. Южно-Устюртский	Транзит поверхностных и подземных вод в сторону Ассаке-Ауданской впадины. Солончатые воды. Глубина залегания $I_{вг}$ более 50 м
Ассаке-Ауданская впадина	VII. Крупные впадины с буграми-чукалками, невысокими останцами и островным развитием пухлых солончаков	IV. Южно-Устюртский	Область частичной разгрузки и дальнейшего транзита подземных вод в сторону Саракамышской котловины. Соленые воды. Глубина залегания $I_{вг}$ более 5 м
Северный склон Туаркыр-Капланкырского плато	VIII. Равнины волнистые или плоские, вдоль юго-восточного чинка с крупными карстовыми провалами	То же	Транзит поверхностных и подземных вод в сторону Сарыкамышской котловины. Соленые воды. Глубина залегания $I_{вг}$ 50—100 м

индикации	Дешифровочные признаки				Примечание
	Краткая характеристика инженерно-геологических условий	Тон изображения	Структура изображения	Характер очертания	
Пролувиальные суглинистые отложения мощностью до 2 м. Аллювиально-пролювиальные отложения долин временных водотоков мощностью до 5 м. Развиваются эрозионные процессы и карст	Серый с светло-серыми пятнами	Не проявляется	Границы нечеткие	Дешифрируются неуверенно	Для дешифрирования необходимо привлечение дополнительных материалов, на некоторых участках район по фототону близок к Центрально-Устюртскому
Озерные отложения мощностью до 10 м. Фрагментами хемогенные и золовые. Развивается рассоление почво-грунтов	Серый с темно-серыми и светло-серыми пятнами	Пятнисто-мозаичная	Границы четкие	Дешифрируются уверенно	
Элювиальные щебнисто-суглинистые отложения мощностью до 2 м, подстилаемые известняками сармата. Развивается линейная эрозия и карст	Серый	Точечно-зернистая	Границы нечеткие	То же	

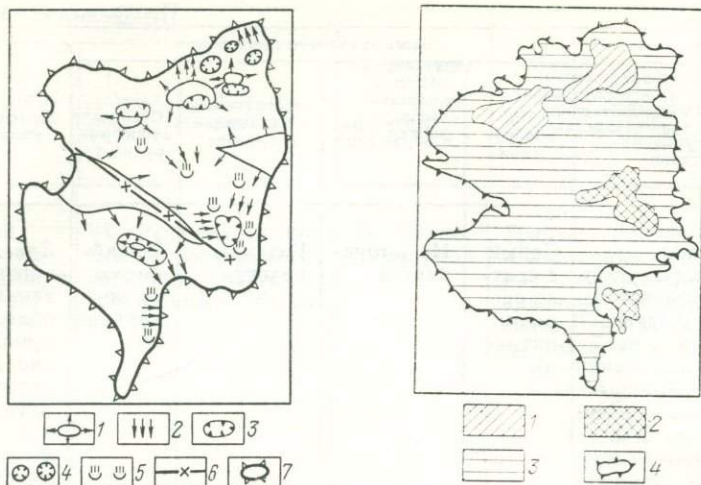


Рис. 11. Схема гидрогеологической интерпретации результатов структурно-геоморфологического дешифрирования снимка с ИСЗ «Метеор-18». По Н. С. Сёминой.

1 — участки усиленного питания грунтовых вод за счет атмосферных осадков; 2 — направление движения грунтовых вод; 3 — участки региональной разгрузки грунтовых вод (водообмен вертикальный); 4 — участки преимущественного горизонтального водообмена; 5 — участки смешанного (вертикального и горизонтального) водообмена; 6 — линии разгрузки подземных (напорных) вод вдоль дизъюнктивных тектонических нарушений; 7 — граница плато Устюрт

Рис. 12. Схематическая карта глубин залегания грунтовых вод Устюрта по результатам дешифрирования снимка с ИСЗ «Метеор-18».

Интервалы глубин залегания грунтовых вод: 1 — от 0 до 2 м; 2 — от 0 до 5 м; 3 — более 5 м; 4 — граница плато Устюрт

скому, Сарыкамышскому и другим глубинным разломам) и часто приурочены к положительным формам рельефа.

По выделенным линеаментам произведено гидрогеологическое районирование (рис. 13) глубокозалегающих водоносных комплексов (ниже палеогенового водоупора), исходя из структурного принципа и из соответствия гидрогеологических показателей (литологии водовмещающих пород, областей создания напора и т. д.).

Ранее [40] границы между артезианскими бассейнами I и II порядков проводились по водораздельным частям возвышенностей и поэтому не совпадали с действительными границами. Такие схемы гидрогеологического районирования правильно отражают гидрогеологические границы между бассейнами или потоками только грунтовых вод.

Сопоставление границ между гидрогеологическими районами II порядка (Северо-Устюртским, Барса-Кельмесским и Южно-Устюртским) с линеаментами, выделенными на телевизионном снимке, и индицирующими разломами показывает хоро-

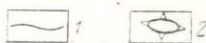
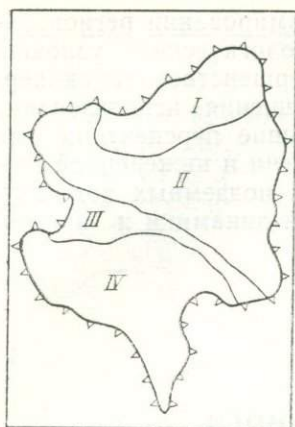


Рис. 13. Схема гидрогеологического районирования по результатам дешифрирования снимка с ИСЗ «Метеор-18». По Н. С. Семиной.

1 — границы гидрогеологических районов II порядка; 2 — граница плато Устюрт.
Гидрогеологические районы второго порядка: I — Северо-Устюртский; II — Барса-Кельмесский; III — Центрально-Устюртский; IV — Южно-Устюртский

шую сходимость. По линеаментам, соответствующим Центрально-Устюртскому и Музбельскому разломам, проходят границы гидрогеологических районов. Линеамент Центрально-Устюртского района выделяется на снимке фотоаномалией темного тона — сгущение пустынной растительности, что подтверждает увлажнение пород, а увлажнение, в свою очередь, подтверждает наличие региональной разгрузки — восходящей фильтрации из юрских и меловых водоносных комплексов в грунтовые воды (напор на 4 м выше уровня грунтовых вод) [117].

Шахпахтинский и Сарыкамышский разломы, имеющие региональную фильтрацию, на изучаемых снимках не опознаны.

Линеамент светлого фототона прослеживается и к северо-западу от Актумсыкского поднятия. Он контролируется колодцами (Кырган, Чиоба, Ушкудук и др.) с глубиной до воды от 3 до 10 м и сгущением растительности (саксаул, биюргун, польнь и др.). На основании этого можно предположить, что по линии линеамента возможно усиленное просачивание атмосферных осадков, которые определяют водоносный горизонт, вскрытый колодцами. Глубина залегания первого от поверхности водоносного горизонта в выделенных гидрогеологических районах различна, но закономерности разгрузки общие — в бессточные впадины.

Рассмотренный опыт дешифрирования ТВ-снимков позволяет считать их вполне применимыми для целей мелкомасштабного гидрогеологического и инженерно-геологического районирования на стадии разработки проектов геолого-съемочных работ и для уточнения имеющихся мелкомасштабных материалов. Сверхмелкомасштабность и высокая степень генерализации ТВ-снимков создает возможность оценки, главным образом роли

структурно-тектонического фактора в формировании региональных гидрогеологических и инженерно-геологических условий. В недалеком будущем, когда будут усовершенствованы сканерные системы среднего и крупного разрешения, использование телевизионной информации откроет большие перспективы для решения актуальных вопросов гидрогеологии и инженерной геологии, связанных, например, с поисками подземных вод, изучением их естественных ресурсов, оценкой динамики и прогнозированием экзогенных процессов.

Глава 6

РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМОФОТОСНИМКОВ РЕГИОНАЛЬНОГО И ЛОКАЛЬНОГО УРОВНЕЙ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ

На примере Северо-Западного Устьярта (с привлечением материалов по другим районам Устьярта) нами сделана попытка показать специфику гидрогеологического и инженерно-геологического дешифрирования для целей среднемасштабного картирования, изучения зоны аэрации и проходящих в ней процессов, поисков подземных вод и оценки влияния структурно-тектонических факторов на формирование гидрогеологических и инженерно-геологических условий (рис. 14).

В работах использовались космофотоснимки регионального и локального уровней генерализации, полученные с ИСЗ и ОНС «Салют-4». Результаты дешифрирования проверялись с помощью комплекса методов наземного обоснования [116].

Дешифрирование проводилось в соответствии с методикой, рассмотренной нами во II части, и основывалось на аналитическом дешифрировании компонентов ландшафта, по результатам которого составлялись синтетические индикационные схемы, интерпретировавшиеся в дальнейшем в гидрогеологических и инженерно-геологических целях. В связи с этим изложение результатов работ проведено по подразделам: аналитическое дешифрирование, разработка синтетических индикационных схем, гидрогеологическая и инженерно-геологическая интерпретация индикационных схем и оценка информативности гидрогеологических и инженерно-геологических карт-схем, составленных по материалам космофотосъемки.

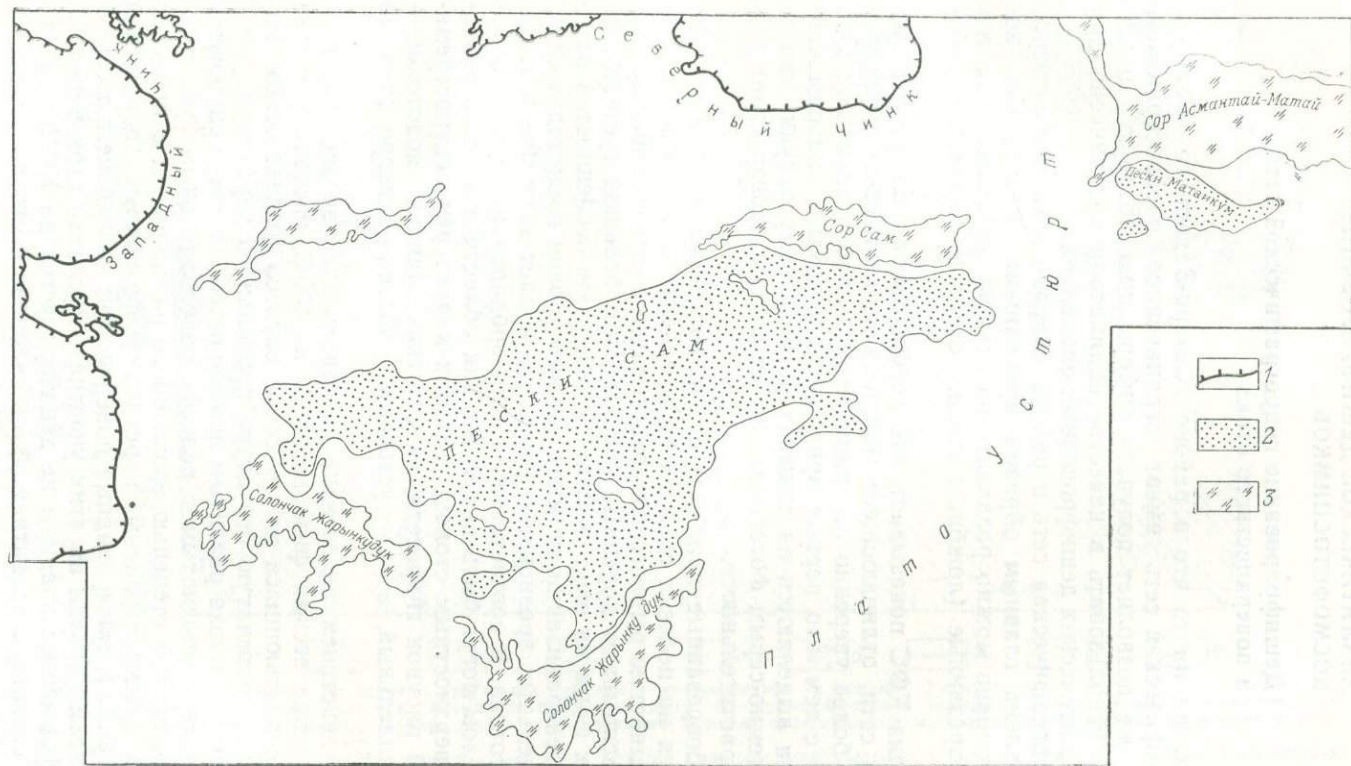


Рис. 14. Обзорная схема Северо-Западного Устьурта.

1 — чинки плато; 2 — песчаные массивы; 3 — солончаки

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ КОСМОФОТОСНИМКОВ

Дешифрирование гидрографической сети и поверхностного стока

Несмотря на то что в районе Северо-Западного Устья гидрографическая сеть имеет ограниченное распространение, она все же позволяет получать информацию, которую можно успешно использовать в качестве индикатора практически при всех аналитических дешифровочных операциях.

Гидрографическая сеть в районе Северо-Западного Устья представлена главным образом временными водотоками, которые условно можно разделить на глубоковрезанные (овраги) и слабоврезанные (ложбины стока, потяжины, промоины и борозды).

Анализ КФС показывает, что глубоковрезанные формы эрозионной сети, отличающиеся малой протяженностью, дешифрируются более уверенно по сравнению со слабоврезанными. Это связано с тем, что первые приурочены к крутым склонам чинков. Они выделяются на снимках по перистому рисунку гидро-сети с темно-серым фототонем, что связано с произрастанием в руслах растительности.

Слабоврезанные ложбины стока, потяжины и борозды развиваются на пологих склонах водоразделов, отличающихся малой мощностью рыхлого покрова, в связи с чем эрозионные процессы вскрывают коренные породы. При большой густоте эрозионных форм на этих участках и при учете особенностей оптической генерализации снимков данного уровня происходит слияние отдельных эрозионных форм, что и дает заметное осветление фототона. В соответствии с этим эродированные склоны водоразделов могут быть выделены как области с хорошо развитым поверхностным стоком. Для них характерен центростремительный рисунок гидросети, на участках слияния водотоков — субпараллельный, а в устьевых частях — дендритовидный (рис. 15).

Под действием интенсивно развивающихся эрозионных процессов чинки весьма физиономичны на КФС, поскольку густая сеть переплетающихся между собой оврагов создает четко выраженную полосчатую структуру продольного характера.

Области с плохо развитым поверхностным стоком приурочены к наиболее приподнятым в рельефе водораздельным участкам плато со слабой степенью эрозионного расчленения, в пределах которых распространены карстово-суффозионные понижения типа «урпа» и такыровидные поверхности, являющиеся местными базисами эрозии на этих участках. Русловой сток в карстово-суффозионные впадины не дешифрируется на КФС, что возможно связано с развитием здесь склонового стока. Сток в та-

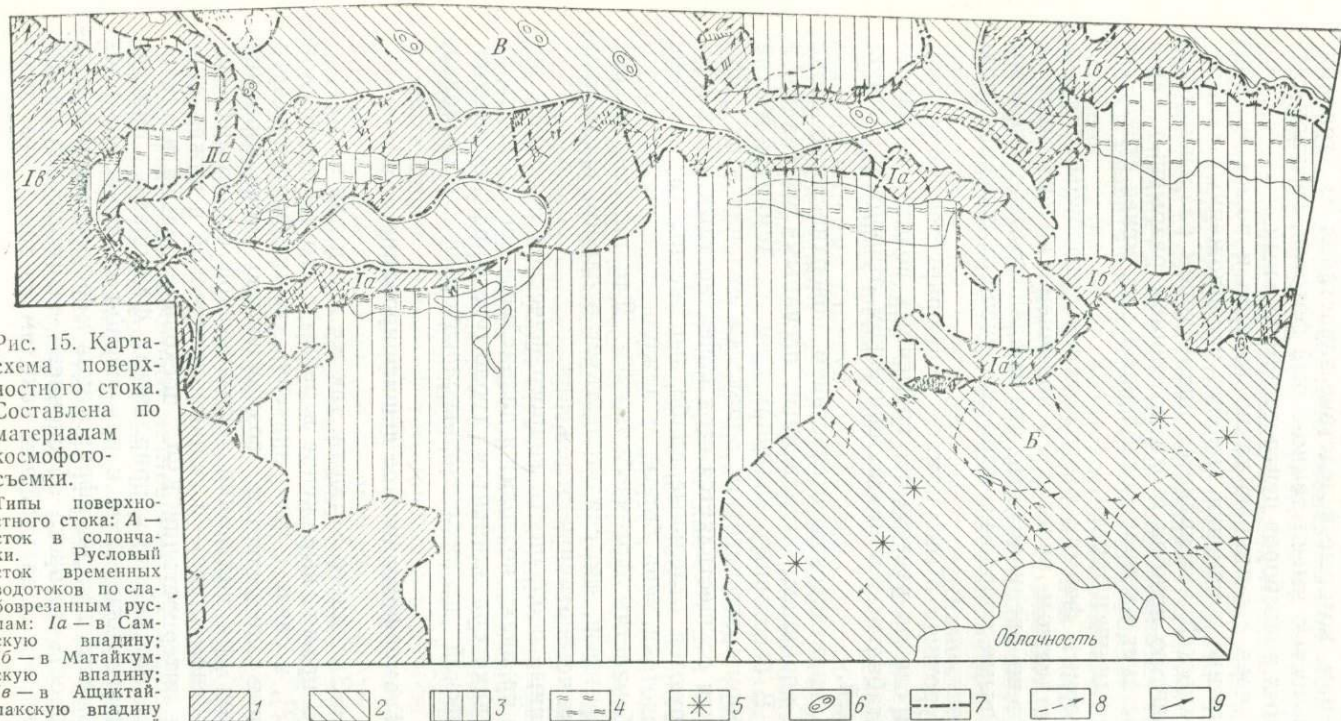


Рис. 15. Карта-схема поверхностного стока. Составлена по материалам космофото-съемки.

Типы поверхностного стока: А — сток в солончаки. Русловый сток временных водотоков по слабоврезанным руслам: 1а — в Самскую впадину; 1б — в Матайкумскую впадину; 1а — в Ащиктайпакскую впадину с хвалынской морской равнины. Русловый сток по глубоко врезанным руслам, приуроченным к чинкам Устьурта:

1аа — в Ащиктайпакскую впадину; 11б — в Чумыштыкольскую впадину. В — русловый сток в такыры и такыровидные поверхности, приуроченные к Актымсыкскому поднятию; В — склоновый сток в древние карстово-суффозионные котловины типа «урпа», приурочен к Мынсуалмасскому поднятию.

Области с различным характером поверхностного стока: 1 — с хорошо развитым поверхностным стоком, приурочены к сильно расчлененным современной эрозией склонам водоразделов; 2 — с плохо развитым поверхностным стоком, приурочены к слабо расчлененным современной эрозией водораздельным пространствам; 3 — практического отсутствия поверхностного стока, приурочены к песчаным массивам и солончакам.

Современные местные базисы эрозии временных водотоков: 4 — солончаки; 5 — такыры; 6 — древние карстово-суффозионные котловины типа «урпа».

Прочие обозначения: 7 — границы между районами различного стока; 8 — слабо врезанные русла временных водотоков, выраженные на снимках фрагментарно; 9 — глубоко врезанные русла временных водотоков, впадающих в бессточные впадины

кры осуществляется по слабовыраженным в рельефе ложбинам и потяжинам, которые вследствие зарастания их травянистой растительностью имеют темно-серый фототон. Рисунок гидросети такырных водосборов центростремительный.

В ряде случаев с помощью таких ложбин и потяжин происходит соединение в цепочки линейно расположенных такыровидных поверхностей, что является индикатором разрывных нарушений. Развитию ложбин стока по линиям разрывных нарушений способствует наличие ослабленных зон, менее стойких к процессам денудации и эрозии.

По характерным формам расположения эрозийных борозд, обтекающих отдельные участки с наличием коленообразных перегибов, можно предположить, что последние либо сложены более устойчивыми породами, либо вовлечены в новейшее поднятие.

В районе урочища Мынсуалмасс дешифрируется дельтовидный характер следов растекания временных водотоков, характерный для стабильных в неотектоническом отношении структурных ступеней.

Области с практическим отсутствием поверхностного стока приурочены к впадинам, выполненным песчаными массивами и солончаками. В бессточных впадинах Сам и Асмантай-Матай эрозийные формы отсутствуют, однако на склонах этих впадин, по которым осуществляется сток поверхностных вод в днище, дешифрируются отдельные слабо выраженные в рельефе временные водотоки типа борозд и ложбин в основном по тональным особенностям фотоизображения. Для них характерен темно-серый фототон, что свидетельствует о слабом врезе этих форм в рыхлые четвертичные отложения.

Рассмотренные особенности гидрографической сети и ее дешифровочные признаки позволяют в дальнейшем использовать их в качестве индикатора элементов геолого-геоморфологической, гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки.

Геоморфологическое дешифрирование

Для Северо-Западного Устюрта, так же как и для всего плато, характерно прямое выражение в рельефе его тектонической структуры [72], в связи с чем значение геоморфологического дешифрирования определяется возможностью использования его результатов при индикации тектонической структуры региона и в конечном итоге — в гидрогеологической и инженерно-геологической интерпретации КФС, поскольку рельеф и тектоника являются важнейшими природными факторами, определяющими гидрогеологическую и инженерно-геологическую обстановку. Применяя при дешифрировании морфосистемный подход, правомерность которого обусловлена взаимосвязью рельефа и тектоники, мы в дальнейшем исходим из того, что про-

цесс распознавания геоморфологических условий по КФС предполагает выявление элементов морфоскульптуры и морфоструктуры как составных входящих элементов морфосистем (рис. 16).

Дешифрирование элементов морфоскульптуры. Особенности ландшафтно-климатических и структурно-геологических условий предопределили континентальность климата Устюрта, входящего в зону пустынь. Даже при первом ознакомлении с космическими снимками становится ясно, что черты аридности носят в себе и геоморфологическое строение: слабое развитие гидрографической сети, обилие дефляционных котловин, сухих русел водотоков, значительные площади, занятые солончаковыми образованиями. Эти черты аридности рельефа Северо-Западного Устюрта позволяют рассматривать его как обширную денудационно-аккумулятивную равнину, в пределах которой можно выделить как области с преимущественной денудацией, так и области с преимущественной аккумуляцией.

Области денудации четко дешифрируются на КФС по наличию характерных форм и комплексов форм рельефа, в формировании которых главную роль играет рельефообразующую роль на протяжении современного этапа геологической истории развития Устюрта играли процессы денудации; выветривание, линейная и плоскостная эрозия, карст и суффозия, оползни. Индикационную роль при дешифрировании этих форм рельефа играет рисунок и характер гидрографической сети как важный косвенный признак, позволяющий осуществлять морфогенетическую диагностику форм рельефа. Однако в большей части дешифрирование осуществляется прямым образом при использовании дешифровочных признаков: фототона, структуры фотоизображения, яркостных характеристик и конфигурации объектов. Рассмотрим дешифровочные признаки комплексов форм рельефа, характерных для областей с развитием денудации.

Эрозионные формы рельефа (овраги, ложбины) уверенно дешифрируются по характерной полосчатой структуре изображения с более темным фототонном по отношению к прилегающим поверхностям, не затронутым эрозией. Причем овражная сеть развита в большинстве случаев по склонам водораздельных пространств и четко индицируется по дендритовидному и перистому рисунку гидросети, а ложбины стока, отличающиеся гораздо меньшей глубиной вреза от оврагов,—спрямленным, почти параллельным рисунком. Ложбины стока приурочены к более пологим, главным образом приводораздельным участкам склонов.

Суффозионно-карстовые котловины типа «урпа» широко распространены на северо-западе района исследований в урочище Мынсуалмас. Они представляют собой обширные неправильной формы депрессии, достигающие в диаметре 2,5 км, с глубиной вреза до 15 м, дешифрирующиеся по крупнопятнистой структу-

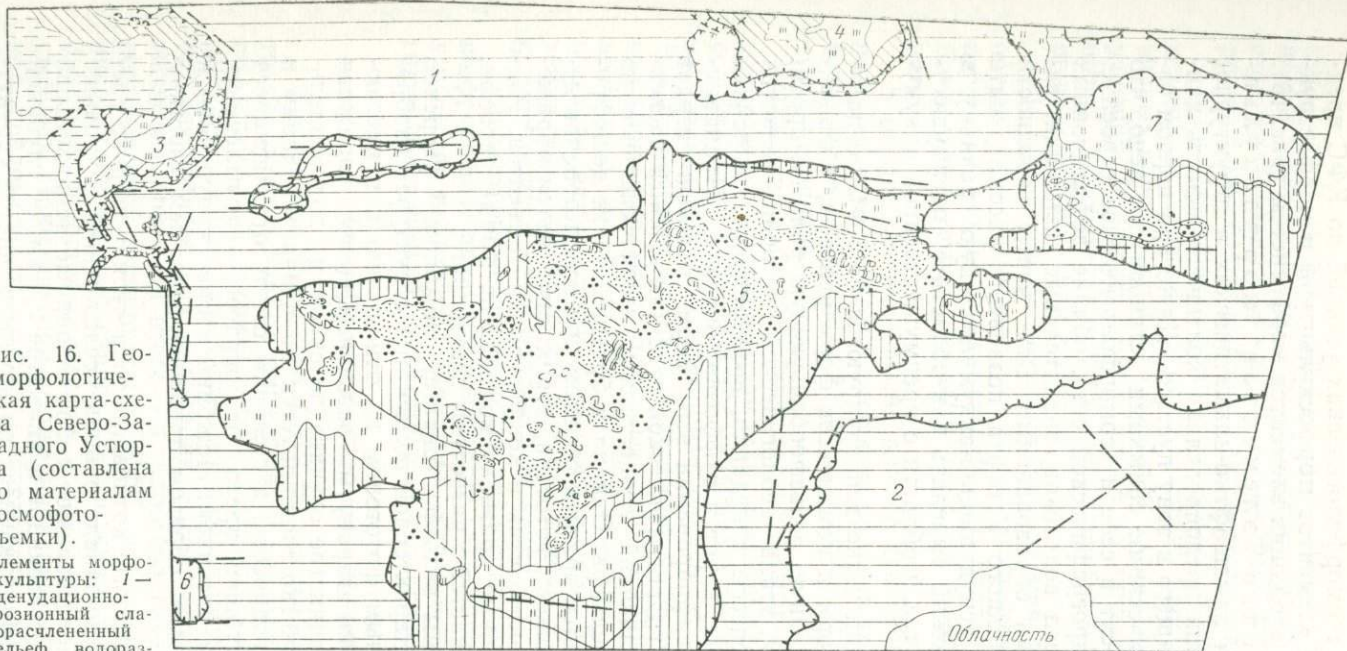


Рис. 16. Геоморфологическая карта-схема Северо-Западного Устьурта (составлена по материалам космофото-съемки).

Элементы морфоскульптуры: 1 — денудационно-эрозивный слабо расчлененный рельеф водораздельных пространств с развитием такыровидных поверхностей и распространением карстово-суффозионных котловин типа «урпа»; 2 — денудационный сильно расчлененный рельеф чинков Устьурта с широким развитием овражно-оползневых форм рельефа; 3 — озерно-соровый рельеф глубоко-врезанных бессточных впадин с широким развитием по периферии пролювиальных шлейфов; 4 — озерно-аккумулятивный рельеф с широким развитием солончаков; 5 — аккумулятивный рельеф пролювиальных слабо расчлененных равнин.

Эоловый рельеф песчаных массивов: 6 — бугристо-ячеистые пески, 7 — грядовые пески, 8 — барханные пески, 9 — озерно-аккумулятивный рельеф слабо расчлененной равнины с широким развитием солончаков; 10 — озерно-соровый рельеф слабо врезанных бессточных впадин. Элементы морфоструктуры. Положительные морфоструктуры: 11 — прямые; 12 — обращенные. Отрицательные морфоструктуры: 13 — прямые; 14 — линейменты, связанные с дизъюнктивной тектоникой, выраженные в современном рельефе; 15 — структурно-денудационные уступы. Обозначения отдельных экзогенных форм рельефа: 16 — крупные оползни; 17 — овраги; 18 — денудационные уступы. Цифры на карте — морфоструктуры: 1 — Мынсуальское поднятие; 2 — Актумсыкское поднятие; 3 — Ащиктайпакская впадина; 4 — Чу-мыштыкольская впадина; 5 — Самская впадина; 6 — Манашисорская впадина; 7 — Матайкумская впадина

ре изображения темно-серого фототона и окаймленные по периферии пятен тонкой светло-серой полоской, обозначающей линии перегиба бортов этих западин. Характерной особенностью котловин типа «урпа», позволяющей отличить их на КФС от понижений другого генезиса, является отсутствие в их днищах соровых и солончаковых образований, так как по данным С. В. Викторова [18] в них происходит рассоление почво-грунтов.

Оползни широко развиты на западных чинках Устюрта. Они четко дешифрируются по характерной циркообразной форме со сложной, обычно пятнисто-полосчатой структурой фотоизображения с преобладанием серых оттенков фототона. Цирки достигают по фронту склона 1 км, а по длине 1,5—2,0 км. Поскольку они имеют блоково-рядовую структуру оползневых тел, то полосчатость поперечного типа обычно создают гряды, приуроченные к центральной и нижней частям оползневого тела, а полосчатость продольного типа с перистым рисунком характерна для эрозионных процессов, принимающих наряду с оползанием грунтов участие в формировании цирков на склонах.

Пятнистость с неправильной формой пятен характерна для блоков оползших пород, приуроченных к головным частям оползневого тела. Характерный для оползневых участков сложный рисунок фотоизображения не может остаться незамеченным, что создает уверенность при дешифрировании.

В понижениях рельефа, приуроченных к водораздельным пространствам, происходит местная аккумуляция элювиально-делювиальных отложений, что приводит к формированию такыровидных поверхностей, отличающихся от типичных такыров, характерных для участков аккумуляции пролювия по составу и свойствам отложений (меньшими плотностью и содержанием глинистых частиц). Дешифрируются они по гомогенной структуре пятен неправильной формы и небольшим размерам (до 3 мм). Фототон их светло-серый.

В результате дешифрирования элементов морфоскульптуры областей денудации определен комплекс форм рельефа, являющийся своего рода индикатором морфогенетических типов рельефа. Путем дальнейшего контурного дешифрирования выделены территории распространения морфогенетических типов рельефа, составляющих основу морфоскульптуры региона. Они являются:

— денудационно-эрозионный слабо расчлененный рельеф водораздельных пространств с развитием такыровидных поверхностей и распространением карстово-суффозионных котловин типа «урпа»;

— денудационный сильно расчлененный рельеф чинков Устюрта с широким развитием овражно-оползневых форм.

Области аккумуляции также находят на КФС специфическое выражение в современном рельефе. Причем среди них можно выделить различные морфогенетические типы, связанные с развитием пролювиальной аккумуляции, засоления почво-грунтов, эоловых процессов.

О развитии пролювиальной аккумуляции свидетельствует широкое развитие шлейфов — конусов выноса пролювия временных водотоков, приуроченных в своем развитии к подножиям чинков при переходе на предустуртскую морскую равнину. Дешифрируются они по темно-серому фототону и однородной структуре, связанной с равномерным покрытием их травянистым растительным покровом. Характерно для них то, что они окаймляют по периферии глубоковрезанные бессточные впадины (пролювиальный шлейф по периферии впадины Ащиктайпак). Формами пролювиальной аккумуляции являются также такыры, формирующиеся в понижениях рельефа местного характера, дешифровочные признаки которых мы уже неоднократно рассматривали [103, 131]. В отличие от пролювиальных шлейфов такыры с поверхности сильно уплотнены, что затрудняет их зарастание, а это создает специфическую однородную структуру фотоизображения со светлым фототонном и четкими границами. Солончаки дешифрируются на КФС наиболее достоверно благодаря четкой однородной структуре с очень светлым фототонном и резко очерченными границам. Как правило, они приурочены к крупным впадинам. По характеру фотоизображения среди них можно выделить два типа солончаков: выполняющие днища глубоковрезанных впадин и выполняющие периферийные части слабоврезанных понижений. Последние имеют более резко очерченные и спрямленные границы, что связано с разрывной тектоникой [2].

Эоловый рельеф также приурочен к днищам крупных впадин с отсутствием поверхностного стока. На КФС он идентифицируется по специфическим формам: барханам, грядам и буграм, их цепочкам или скоплениям, создающим специфический характер фотоизображения.

Барханные пески дешифрируются главным образом по своей серповидной форме, нашедшей четкое отражение на снимках. Структура их фотоизображения однородная, обусловленная обнаженностью песков, а фототон светлый и светло-серый.

Грядовые пески дешифрируются не менее уверенно по наличию линейно-вытянутых гряд, ориентированных с северо-востока на юго-запад. В соответствии с этим структура фотоизображения этих участков сложная, сочетающая в себе элементы полосчатости и зернистости. Зернистость связана с различной характером закрепленности песков. Фототон варьирует от светло-серого до темно-серого, в основном под влиянием экспозиции склонов гряд, что создает различную их освещенность.

Бугристо-ячеистые пески дешифрируются по характерной пятнистой структуре. Светлые резкоочерченные пятна с гомогенной структурой внутри них обозначают ячеи, лишенные растительного покрова, а серые пятна с зернистой структурой характерны для бугров с разреженным характером растительного покрова, что и обуславливает наличие зернистости. Важным признаком является равномерный характер распределения пятнистости по площади. Среди рассмотренных типов эолового рельефа наиболее достоверно дешифрируются барханные пески, занимающие всего лишь 15% всей площади песчаных массивов Северо-Западного Устья. Это связано с их обнаженностью и положением в рельефе. Практически не дешифрируются мелкобугристые пески (высота бугров менее 5 м), что связано с разрешающей способностью используемых КФС, не позволяющей фиксировать объекты таких размеров.

В соответствии с хорошей дешифрируемостью комплексов форм аккумулятивного рельефа путем контурного дешифрирования возможно выделение территориального распространения различных его морфогенетических типов:

— аккумулятивного озерно-сорового рельефа глубоковрезанных бессточных впадин с широким развитием по периферии пролювиальных шлейфов;

— аккумулятивного озерно-сорового рельефа слабоврезанных впадин;

— аккумулятивного рельефа пролювиальных слаборасчлененных равнин;

— эолово-аккумулятивного рельефа песчаных массивов.

Дешифрирование элементов морфоструктуры. При сравнении результатов проведенного выше анализа морфоскульптуры Северо-Западного Устья с существующими представлениями о тектонике этого района [52; 95] проявляется прямая связь экзогенного и эндогенного рельефообразования, что создает возможность индикации элементов тектоники. При анализе особенностей территориального распространения экзогенных форм рельефа выявлено, что определенные типы рельефа или определенный комплекс (набор) типов рельефа в своем развитии приурочен к определенным структурно-тектоническим условиям, выраженным прямо или инверсионно в рельефе. И даже более того, подмечены особенности экзогенного рельефообразования, индицирующие характер соотношения рельефа и структуры. Ниже мы подробнее осветим результаты такого сопоставления.

Согласно современным представлениям о тектонике в пределах Северо-Западного Устья выделяется ряд антиклинальных и синклинальных складчатых структур II и III порядков, осложняющих мезо-кайнозойский чехол Устьютской синеклизы [21, 100].

Большинство складчатых структур находит прямое выражение в современном рельефе в виде одноименных впадин и поднятий (Самская, Матайкумская, Манашисорская впадины; Мынсуалмаское и Актумсыкское поднятия). Вместе с тем в районе исследований имеется инверсионная структура, не совпадающая с современным рельефом поверхности, как, например, Ашиктайпакская впадина, развитая в присводовой части одноименного антиклинального поднятия. При сопоставлении структурного плана Северо-Западного Устюрта с особенностями экзогенного рельефообразования оказалось возможным выделить ряд морфоструктур, особенности дешифрирования которых изложим подробнее.

Антиклинальные поднятия (Мынсуалмаское и Актумсыкское) индицируются комплексом форм рельефа денудационного генезиса. Ведущими индикаторами служит выраженность в рельефе наиболее приподнятых участков плато со слабым эрозионным расчленением на водораздельных поверхностях и распространенных в их пределах карстово-суффозионных котловин типа «урпа». Характерно также развитие такыровидных поверхностей в местных понижениях рельефа. На крутых склонах Мынсуалмаской структурной ступени интенсивно развиваются эрозионно-оползневые процессы. Для этих участков характерна высокая степень эрозионного расчленения, на что указывает перистый рисунок гидросети.

Северная часть Актумсыкской системы поднятий является менее приподнятой группой структур, о чем свидетельствует сравнительно слабое эрозионное расчленение и большая мощность рыхлых отложений, главным образом пролювиальных, выполняющих такырообразные понижения. Отсюда можно сделать вывод о том, что индикатором антиклинальных поднятий с прямым выражением в рельефе является комплекс форм денудационного и денудационно-эрозионного происхождения. Иначе говоря, определив комплекс денудационных форм рельефа как морфоскульптурный элемент, морфосистем, а антиклинальную структуру — как морфоструктурный элемент, можно судить о денудационной морфосистеме как индикаторе определенного комплекса гидрогеологических и инженерно-геологических условий.

Синклинальные прогибы (Самская, Матайская, Манашисорская мульды) индицируются комплексом форм рельефа аккумулятивного происхождения. Ведущими индикаторами служит выраженность в рельефе наиболее опущенных участков с центростремительным рисунком гидросети по склонам впадины и отсутствием стока в днище, широким развитием эоловых процессов в днищах впадин и процессов засоления почво-грунтов по их периферии. В данном случае можно выделять эоловые морфосистемы, составляющими элементами которых являются песчаные массивы, выполняющие днища прогибов, и аналогич-

но — солончаковые морфосистемы, также являющиеся индикатором определенного типа гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки.

Несколько иначе обстоит дело с обращенными структурами. Ащиктайпакское антиклинальное поднятие выражено в рельефе в виде глубокооврезанной впадины, днище которой занято одноименным солончаком. Как показал Ю. М. Клейнер [72], глубокооврезанные впадины Устюрта тесно связаны с углами пересечения флексур и разрывов разных направлений, предопределивших их относительно повышенную тектоническую активность и трещиноватость пород, следствием чего явилась интенсификация как гидрогеологических процессов, так и общей денудации. Таким образом, глубокооврезанные впадины, в которых интенсивно развиваются процессы засоления, являются индикатором положительных структур, чаще всего флексурных перегибов, что характерно не только для Северо-Западного Устюрта, но и для всего плато. Эта закономерность неоднократно отмечалась многими исследователями на примере впадин Шахпахты и Шорджа в районе Центрального Устюрта [2, 72, 103].

Связь рельефа с тектоникой отчетливо проявляется при рассмотрении конфигурации чинков плато. Резко обрывающийся северный чинк Устюрта приурочен к крупному разлому. Глубокие «заливы» чинка в глубь плато четко совпадают с положительными структурами и их группами (Мынсуалмасская система дислокаций). На КФС видно, что общее северо-западное направление дугообразного в плане разлома распадается на ортогональную систему подчиненных линеаментов, которые проявились в очертаниях западного и северо-западного чинков Устюрта.

Региональные разломы, приуроченные к чинкам, индицируются также и участками активизации оползней, протяженными оврагами, денудационными уступами.

В основу прямого дешифрирования разрывных нарушений положены структурный контроль элементов рельефа и эрозионной сети, прямолинейные контакты контуров различных по структуре и тону фотоизображений. Благодаря обзорности космических снимков удается проследивать протяженные разломы, которые выражены в виде отчетливо проявляющихся фотоаномалий.

Таким образом, данные геоморфологического дешифрирования КФС позволяют выявить и оценить роль аридных морфосистем Северо-Западного Устюрта как индикатора гидрогеологических и инженерно-геологических условий. При этом совершенно очевидно, что рассмотренные выше денудационные (суффозионно-карстовые и эрозионные) и аккумулятивные (эоловые и солончаковые) морфосистемы определяют различия в условиях формирования, движения и разгрузки грунтовых

вод, их минерализации, глубинах залегания, а также в составе и свойствах водовмещающих пород. Результаты индикационного анализа рассмотрены в следующей главе.

СИНТЕТИЧЕСКИЕ ИНДИКАЦИОННЫЕ СХЕМЫ

Ландшафтно-индикационная схема

Ландшафтные индикаторы гидрогеологических и инженерно-геологических условий выявлялись на основании синтеза трех источников: а) дешифрирования ландшафтов на КФС; б) анализа различных аналитических карт, составленных в ходе дешифрирования КФС (поверхностного стока, геоморфологической, почвенно-геоботанической); в) анализа имеющихся текстовых и картографических материалов и результатов полевых исследований. Таким образом, необходимо отметить, что ландшафтно-индикационная карта составлялась не до аналитических карт, а после них. Вследствие этого ее нельзя использовать для решения вопросов о том, насколько ландшафтно-индикационное картирование может помочь при работе с КФС составлению различных частных или отраслевых конкретных карт. Однако она представляет определенный интерес в том отношении, что выявленные в ходе ее составления возможности ландшафтного дешифрирования могут быть экстраполированы на ряд районов — аналогов Северо-Западного Устюрта, а именно в первую очередь на другие части той же пустыни, а также на плато Чаграй (Шагырай), на равнинный Мангышлак, Краснодарское плато и, вероятно, на Бетпак-Дала. В этом, очевидно, следует видеть наибольшее практическое значение составленной карты-схемы.

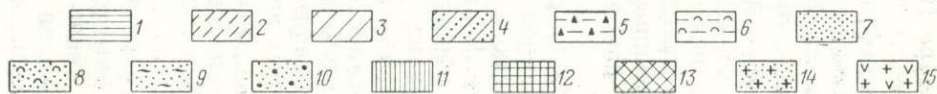
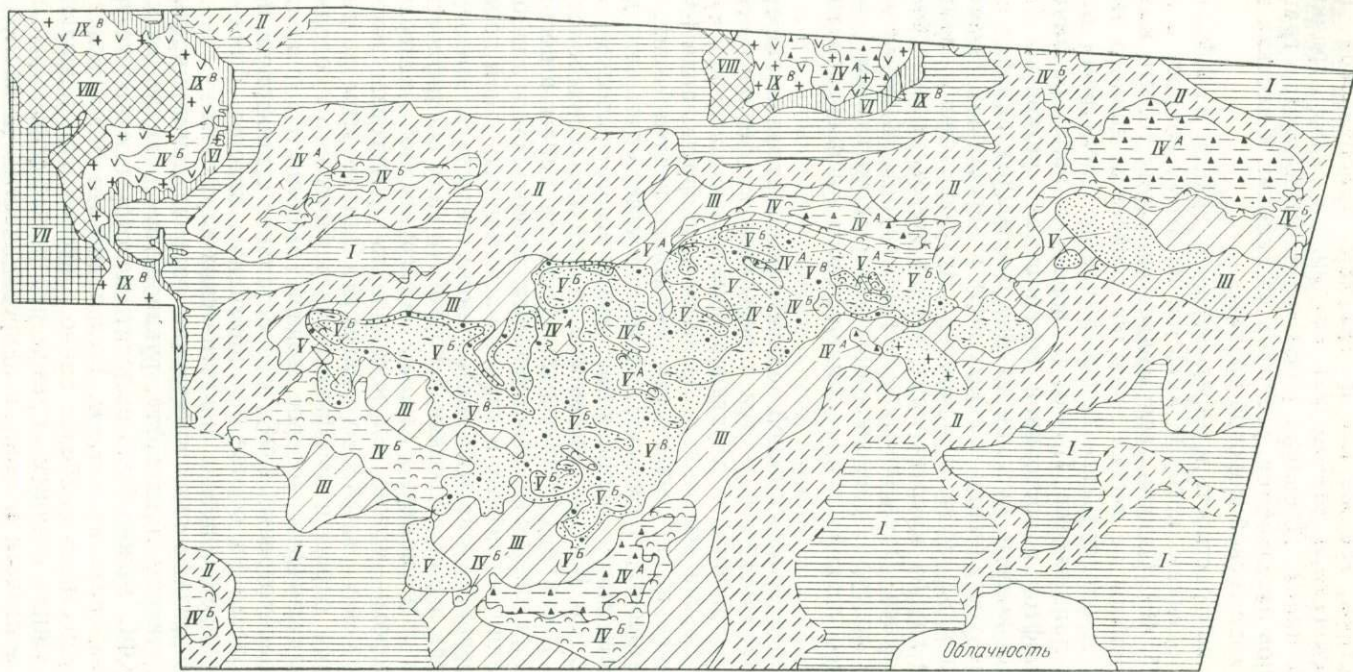
Оценивая возможности составления ландшафтно-индикационной карты-схемы по КФС в условиях Северо-Западного Устюрта, следует указать, что непосредственно с КФС могли быть получены границы эктоярусов крупных ландшафтных типологических таксонов, по масштабу своему отвечающих типам ландшафтов (по Н. А. Солнцеву), а также границы эктоярусов немногих более мелких таксонов, близких по своему объему к типам сложных урочищ. Границы контуров, относимых к различным типам ландшафтов, выделялись большей частью с полной бесспорностью. Некоторое сомнение вызвали лишь границы, отделяющие эктоярус типа ландшафта, развитого на поверхности плато и являющегося на карте-схеме как бы фоновым, от различных других типов ландшафта, лежащих внутри плато, особенно от типа ландшафта, развитого на отложениях смешанного эолово-хемогенного происхождения. Границы эктояруса типа ландшафта, связанного с литогенной основой, представленной песками (массивы Сам и Матайкум), принадлежат к

наиболее четким, так же как и границы солончаковой пустыни на хемогенных отложениях впадин, а также границы ландшафтов чинка. Довольно размытыми оказываются границы двух типов ландшафтов, развитых на склонах и плоских поверхностях хвалынской морской равнины.

В целом контрастность и определенность границ на КФС отвечают тем оценкам, которые имеются по этому вопросу в литературе [25, 46]. Однако заслуживает внимания то, что выраженность границы не всегда является свойством данного типа ландшафта, а определяется большей частью свойствами двух граничащих ландшафтов. Поэтому, вероятно, надо различать типы ландшафтов с постоянной пограничной резкостью (например, солончаковые пустыни на дне бессточных впадин при широком распространении соляных кор) и переменной (зависящей от типа ландшафта, лежащего по другую сторону границы); первая группа малочисленна, вторая же охватывает большую часть типов. Представители первой группы образуют как бы опорные контуры, распознавание которых составляет первый наиболее легкий этап ландшафтного дешифрирования КФС.

Значительно более сложной задачей, чем распознавание границ типов ландшафта, является определение их физико-географического содержания, т. е. установление их ландшафтной сущности. Если оставаться лишь в пределах дешифрирования КФС (не обращая ни к результатам наземных исследований, ни к анализу имеющихся данных), то можно утверждать, что для большей части типов ландшафтов физико-географическое содержание их по КФС неопределимо, а для немногих типов — определимо в самых общих чертах. К таким типам относятся ландшафты, развитые на солончаковых поверхностях дна бессточных впадин, на песках и сильно расчлененной узкой полосе чинка. В первом случае КФС позволяют утверждать, что перед нами площадь, покрытая соляной коркой (в силу специфического фототона и равномерно гладкой бесструктурной поверхности); во втором — можно диагностировать присутствие песков (по характерному рисунку их рельефа). Однако этим почти и исчерпывается определение физико-географического содержания типов ландшафта, которое можно выполнить, опираясь только на рассмотрение КФС. Все остальное дешифрирование приходится вести на основе тех признаков, которые были освещены при характеристике аналитических карт-схем.

Из более мелких таксономических подразделений морфологической структуры ландшафта, руководствуясь анализом изображения КФС, можно было выделить некоторые сложные урочища и объединить их в типы. Выделение это оказалось возможным осуществить наиболее полно в песках, где основанием для него служили главным образом различные формы рельефа последних, а отчасти и степень закрепленности (в частности,



для барханных форм). Выделялись также черносаксаульники по интенсивно темному фототону и сопряженности с окраинами участков солончаковой пустыни в бессточных впадинах и чукалаки, опознаваемые по «островному» положению на фоне дна бессточных солончаковых впадин. Довольно условно и не вполне четко расчленены были такыры и депрессии типа «урпа». Этим по существу и ограничилось выделение типов сложных урочищ.

Подводя итог вышеизложенному, можно утверждать, что анализ КФС без привлечения дополнительных данных позволяет выделять: а) типы ландшафта и б) весьма ограниченное количество сложных урочищ.

Как уже отмечалось, непосредственный анализ КФС давал очень скудные сведения о физико-географическом содержании выделенных контуров и оно раскрывалось либо наземными исследованиями, либо путем использования имеющихся материалов. В итоге была разработана легенда к карте, имеющая по существу характер ландшафтно-индикационной схемы, в которой характеристика индикаторов доведена в основном до определенных литолого-генетических комплексов (в масштабе типов сложных урочищ — до господствующих материнских почвообразующих пород и характеристики грунтовых вод) (рис. 17). Заслуживает внимание то, что на КФС локального уровня генерализации важнейшие гидроиндикаторы в песках, а именно, чуроты, могли быть лишь отмечены, т. е. было констатировано их

Рис. 17. Ландшафтно-индикационная карта-схема Северо-Западного Устюрта (по С. В. Викторovu).

Индикаторы (экотярусы типов ландшафтов сложных урочищ): 1 — слаборасчлененные равнины водораздельных поверхностей плато с господством серопольно-бояльчево-биюргуновых и кустарниково-полянно-биюргуновых комплексов; 2 — умеренно-расчлененные слабонаклонные равнины с мозаичным комплексом биюргуников и кеуречников при наличии сарсазанников, кокпечников, суранников; 3 — умеренно-расчлененные слабонаклонные равнины с мезокомплексом галофильных черносаксаульников и яропольников при участии биюргуников, терескенников, сарсазанников, кокпечников, суранников; 4 — умеренно-расчлененные слабонаклонные равнины с господством галофильных черносаксаульников; 5 — равнины дна бессточных впадин с гладкими соляными корами, лишенными растительности; 6 — равнины дна бессточных впадин мелкобугристые или чокчоватые с отдельными гладкими участками при господстве бугристых сарсазанников; 7 — бугристо-ячеистые, грядовые и барханные формы поверхности с макрокомплексом белопольных, житняковых и пионерно-псаммофильных сообществ при участии джизгуников, илечников и группировок фреатофитного высокотравья; 8 — барханные формы поверхности с господством пионеров-псаммофитов при участии чуроты (понижения с фреатофитным высокотравьем); 9 — грядовые формы поверхности с господством злаково-белопольно-крупнокустарниковых сообществ (при участии пионеров-псаммофитов по барханам и фреатофитов в понижениях); 10 — бугристо-ячеистые формы поверхности с господством песчаноосоково-белопольно-житняковых сообществ; 11 — сильно-расчлененные системы крутосклонных поверхностей, обрывов и оврагов с мезокомплексом караганников, колючевьюнковников, кеуречников, биюргуников, серопольников и фреатофитное высокотравье; 12 — слаборасчлененные равнины с господством биюргуников при участии серопольников, итцегечников, сарсазанников; 13 — умеренно-расчлененные слабонаклонные равнины с комплексом серопольников, биюргуников, терескенников, крк-бууников, тасбиюргуников; 14 — плоские поверхности дна бессточных понижений с итцегечниками; 15 — умеренно-расчлененные слабонаклонные поверхности шлейфов с разреженными крк-бууниками и тасбиюргуниками

присутствие. Однако несомненно, что при более значительном увеличении масштаба КФС можно было бы составить специальную карту чуротов, подсчитать их площади и, пользуясь данными непосредственных определений расходов на транспирацию, интерпретировать ландшафтную карту чуротов как транспирационную.

В целом возможности использования КФС для целей ландшафтного картирования представляются весьма благоприятными. Индикационная же интерпретация возможна лишь на основе достаточно обстоятельного комплекса наземных исследований.

Структурно-тектоническая схема

Данные о структурно-тектонических условиях получены на основе анализа ландшафтно-индикационной карты-схемы и данных аналитического дешифрирования. Сравнение схемы структурно-тектонического дешифрирования с ранее известными сведениями о геологической структуре района [52, 95] показывает значительное расхождение в рисовке многих контуров. Это в основном связано с двумя факторами. В результате проведения в конце 60-х годов кондиционной геологической съемки была получена геологическая карта [13], отражающая основные литологические черты территории и наиболее выраженные в строении платформенного чехла региональные и локальные структуры. В то же время роль дизъюнктивной тектоники была недооценена, недостаточно полным было и изучение малоамплитудных положительных локальных структур. Анализ опубликованных работ по структурному дешифрированию космических снимков на территории Устюрта показывает их высокую эффективность именно в выделении разломов разных порядков и локальных структур [2, 86, 131]. Вторая причина отличия контуров геологических структур, выявленных в процессе геологической съемки, от результатов дешифрирования космических снимков обусловлена особенностями влияния структур на ландшафт территории.

По мнению многих исследователей, в современных ландшафтах Устюрта выражаются преимущественно контуры новейших структур [2]. Это положение имеет большое значение в использовании структурных данных в гидрогеологических исследованиях, так как сопоставление гидрогеологических условий, прежде всего химизма вод, с контурами локальных структур на территории полуострова Мангышлак показывает, что их контуры выделенные по космическим снимкам, значительно лучше объясняют изменения химического состава вод, чем по данным геофизических и буровых работ [13, 86]. Иными словами, вероятно, обновленные в современное и новейшее время границы

структур оказывают влияние на гидрогеологические условия местности.

На составленной в результате структурно-тектонического дешифрирования КФС схеме хорошо вырисовываются основные элементы структуры Северо-Западного Устьярта (рис. 18): Мынсуалмасская структурная ступень на севере, участок Актумсыкского выступа на юге и разделяющие их Матайкумская, Самская и Манашисорская мульды в центре. Унаследованность новейших тектонических движений и наличие на поверхности плато бронирующего покрова сарматских известняков, относительно устойчивых к процессам денудации, привело к прямому выражению в рельефе тектонической структуры района. Индикаторы и дешифровочные признаки крупных элементов геологической структуры подробно рассмотрены в разделе «Геоморфологическое дешифрирование». Здесь же основное внимание уделено выявлению локальных положительных структур и дизъюнктивных нарушений, индикация которых основывается не только на геоморфологическом анализе, но и на ландшафтных взаимосвязях.

При индикационном анализе снимков была выявлена связь индикаторов локальных структур с характером и направленностью тектонических движений и их выраженностью в современных ландшафтах плато. По этим двум факторам можно подразделить отдешифрованные локальные структуры на четыре группы. Наиболее уверенно выделяются группы структур, расположенные в областях новейших поднятий. Структуры первой группы приурочены к чинкам плато, где развиты гравитационные (оползне-обвальные) процессы и процессы засоления почво-грунтов. Основными индикаторами структур здесь являются заливообразные в плане обрывы чинков (структуры 12, 6, 11), концентрически расположенные солончаки (структуры 2, 6) и центробежный характер ложбин временных водотоков (структура 1). Анализ планового расположения индикаторов позволяет достаточно точно провести границы локальных структур.

Контуров второй группы структур, располагающихся в пределах плато, определяются с трудом, хотя само их существование устанавливается достаточно уверенно. Индикаторами здесь служат пологие возвышенности с группами останцовых холмов (структуры 3, 4, 22, 23, 24), центробежный рисунок временных водотоков (структуры 7, 21) и в меньшей степени концентрическое расположение небольших отрицательных форм рельефа: такыров и карстово-суффозионных впадин типа «урпа» (структура 5). В пределах областей прогибания уверенность в выделении локальных структур уменьшается. На участках развития песков индикаторами локальных структур являются изменения в интенсивности эоловых процессов. На участках растущих поднятий развиты развеваемые барханные и грядовые пески (структуры 9, 12, 14, 15, 16), иногда само присутствие овальных

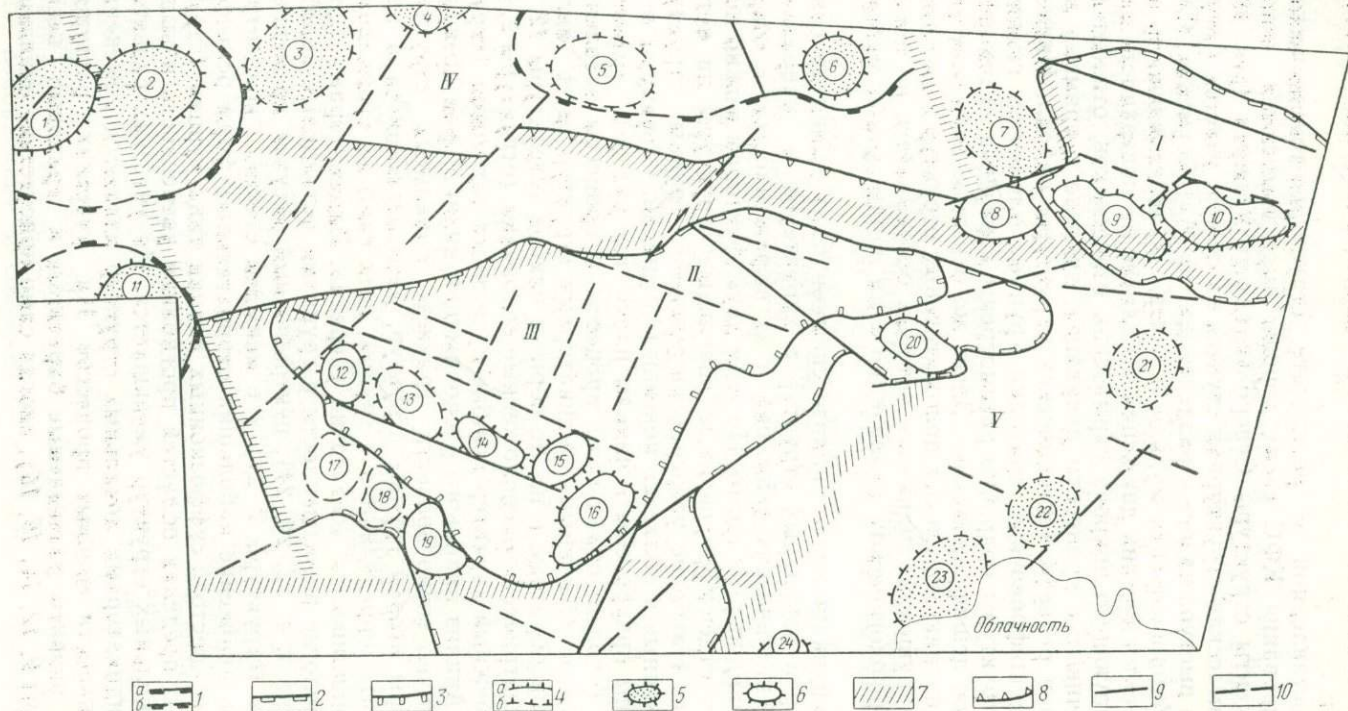


Рис. 18. Структурно-тектоническая карта-схема Северо-Западного Устьурта (составлена по материалам космофотосъемки). По М. И. Бурлешину.

Плкативные структуры: 1 — границы групп положительных локальных структур (дешифрируются): а — уверенно, б — неуверенно; 2 — границы прогибов; 3 — границы наиболее пониженных частей прогибов; 4 — границы положительных локальных структур: а — дешифрируются уверенно, б — неуверенно. Степень достоверности индикационных признаков локальных положительных структур: 5 — более достоверные, 6 — менее достоверные. Дизъюнктивные нарушения: 7 — предполагаемые разломы; 8 — предполагаемые флексуры. Трещины: 9 — крупные, 10 — мелкие. Римские цифры — номера региональных структур; арабские цифры в кружках — номера локальных структур

в плане контуров песков может служить индикатором (структуры 10, 19). Контур структуры этой группы выделяются довольно точно. В пределах развития солончаков бессточных впадин точность контуров локальных структур, относящихся к четвертой группе, уменьшается. Индикатором здесь является относительное рассоление почвы, на что указывают участки денудационного плато, окруженные ландшафтом пухлых и мокрых солончаков (структуры 8, 13, 20) и концентрическое расположение вытянутых в плане солончаков (структуры 17, 18).

Большое влияние на строение платформенного чехла Северо-Устьюртского прогиба оказывают дизъюнктивные нарушения. Участки разломов, выраженные в современном рельефе, показаны на геоморфологической карте-схеме. Однако дальнейшая комплексная индикация структурного плана позволила уточнить и дополнить эти данные. Общее северо-восточное направление Северо-Устьюртского прогиба распадается на космических снимках на несколько ортогональных и диагональных направлений, в которые вписываются основные элементы структурного плана. Наиболее важными на данном уровне генерализации КФС являются линеаменты субширотного структурного направления. Они подразделяют единый Северо-Устьюртский прогиб на три кулисно сопрягающиеся мульды: на востоке Матайкумскую, в средней части Самскую и в южной Манашисорскую. На местности это направление выражено линейно ориентированными в субширотном направлении солончаками и участками интенсивной эрозионной деятельности. При этом в солончаковых понижениях образуются участки повышенной увлажненности, резко выделяющиеся на снимках потемнением фототона. Несколько меньшее значение имеет диагональное направление с азимутами 320—340 и 50—70°, ооконтуривающее наиболее пониженную часть Самской впадины, а также подразделяющее Мынсуалмасскую структурную ступень на несколько блоков. Линеаменты, близкие к широтному направлению, совпадают в рельефе с границами распространения солончаковых равнин и песчаных массивов.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ИНДИКАЦИОННЫХ СХЕМ

В связи с тем, что гидрогеологические условия и некоторые элементы инженерно-геологической обстановки не находят непосредственного выражения на КФС, то для их изучения необходим косвенный индикационный подход. При этом в качестве индикаторов выступают сочетания рельефа и растительности, рельефа и тектонической структуры, а также конкретные особенности растительности, рельефа, гидрографической сети, объектов хозяйственной деятельности человека. Индикатами в данном случае являются горные породы, условия формирова-

ния и гидродинамика подземных вод, глубины их залегания, минерализация, процессы влагообмена в зоне аэрации и инженерно-геологические условия.

Горные породы

Комплексы рыхлых отложений интерпретируются уверенно в связи с тем, что они коррелятивно связаны с формами и элементами рельефа. На их генезис указывает также рисунок гидрографической сети, отражающий современные рельефообразующие процессы, приводящие к формированию того или иного комплекса. В связи с этим индикаторами рыхлых отложений являются рельеф и особенности гидрографической сети. Вместе с тем важную роль играют дешифровочные признаки: структура фотоизображения, фототон и конфигурация объектов, обусловленные характером развития растительных сообществ, рельефом поверхности, с одной стороны, и влажностью, гранулометрическим составом пород — с другой.

При дешифрировании использованы данные о четвертичных отложениях Устюрта, содержащиеся в работах ряда исследователей [72, 80], а также результаты наземных исследований, проведенных авторами.

Плиоцен-четвертичные отложения Северо-Западного Устюрта представлены комплексами различного генезиса, среди которых по материалам космофотосъемки выделяются: элювиальные, элювиально-делювиальные, пролювиальные, делювиально-пролювиальные, делювиально-коллювиальные, эоловые, хемогенные, эолово-хемогенные, морские. Они залегают на известняках и мергелях с прослоями карбонатных глин сарматского возраста (N_1^3s) в пределах плато и глинах палеогена (P_3^{1-3}) на предустюртской равнине. Породы сарматского и палеогенового возраста в районе исследований не обнажаются.

Ниже рассмотрены результаты дешифрирования плиоцен-четвертичных отложений.

Делювиально-коллювиальные отложения (dcN_2-Q_{IV}) представлены сложнопостроенной толщей разновозрастных пород (известняки, мергели, глины, суглинки, супеси), сформировавшихся в результате интенсивного развития эрозионных и оползневых процессов на чинках Устюрта. Их мощность варьирует от 10 до 40 м. Индикатором этого комплекса отложений являются оползневые и эрозионные формы рельефа, создающие на КФС пятнистость и полосчатость изображений. Пятнистость связана с блоковым строением оползневых склонов, полосчатость обусловлена развитием эрозионной сети и перистым рисунком. Фототон изменяется от темно-серого у самой бровки уступа чинка до серого. Границы этого комплекса отложений дешифрируются уверенно.

Морские отложения (mIII—hV) занимают пространства плоской предустюртской равнины. Литологически они представляют собой переслаивание тонкозернистых песков и песчанистых глин. Мощность комплекса — до 10 м. Фотоизображение мелкопятнистое. Фототон пятен светло-серый, а окружающей поверхности — серый и темно-серый. Пятнистость связана с развитием микросоровых понижений, что создает неравномерность в распределении растительного покрова.

В состав элювиальных отложений (eI—IV) входят: супеси, суглинки, щебень и дресва, известняки, мучнистый известняк. Мощность комплекса 0,5—1 м. Распространены элювиальные отложения на плоских водораздельных поверхностях плато с широким развитием карстово-суффозионных котловин типа «урпа» и таковыидных поверхностей, которые являются индикаторами этого комплекса отложений. Их широкое распространение создает пятнисто-мозаичную структуру фотоизображения с сочетанием почти всех фототонов от светло-серого (таковыидные поверхности) до темно-серого (карстово-суффозионные котловины).

Элювиально-делювиальные отложения (edI—IV) представлены суглинками, дресвой и щебнем известняка, мучнистым известняком. Мощность варьирует от 1 до 5 м. Индикатором этого комплекса отложений служат пологие склоны слабоврезанных впадин, к которым они приурочены, с хорошо развитой сетью временных водотоков. Фотоизображение характеризуется дендритовидной структурой, что связано с соответствующим рисунком гидросети. Фототон изменяется от светло-серого (русла временных водотоков) до серого (участки, не затронутые эрозией). Следует отметить, что в целом для склонов бессточных впадин характерен более светлый фототон, чем для остальной поверхности плато.

Пролувиальные отложения (pIII—IV) включают в себя суглинки, супеси, пески с глинистыми прослоями и примесью дресвы известняка. Мощность изменяется от 2 до 4 м. Индицируются по приуроченности к днищам предчинковых впадин. Структура фотоизображения предустюртских впадин гомогенная. Характерен темно-серый фототон. К западу от сора Самолдын уверенно дешифрируется крупный конус выноса пролювия. Структура фотоизображения зернисто-полосчатая. Зернистость связана с локализацией на поверхности мелких солончаков и группировок травянистой растительности. Полосчатость обусловлена развитием эрозионных процессов, представленных пересохшими бороздчатыми формами, создающими веерообразный рисунок. Границы конуса выноса выражены четко. Пролувиальные отложения выполняют также все такры, встречающиеся на плато. Представлены они в этом случае очень плотными суглинками, что создает гомогенную структуру со светлым фототонном. Делювиально-пролювиальные отложения (dpIII—IV) представ-

лены суглинками, супесями и песками. Мощность 2—4 м. Приурочены они к склонам средней крутизны, расчлененным овражной эрозией. Характерно фотоизображение с продольнополосчатой структурой. Полосчатость обусловлена развитием неглубоких оврагов. Фототон серый. Границы нечеткие, расплывчатые.

Хемогенно-золотые отложения (hVIII—IV) приурочены к зонам перехода от песчаных массивов к солончакам. В их состав входят супеси, суглинки, тонко- и мелкозернистые пески, иловатые пески. Для них характерны сильная огипсованность и засоленность. Мощность достигает 10 м. Структура фотоизображения неравномерно-пятнистая, что связано с распространением мелких солончаков. Фототон изменяется от светло-серого до темно-серого. Это обусловлено различиями в видовом составе растительности. Так, например, участки с широким распространением саксаула выглядят на снимке пятнами темно-серого фототона с четкими границами, а группировки сарсазанников дают серое расплывчатое изображение с нечеткими границами.

Золотые отложения (vIV) представлены тонко- и мелкозернистыми песками и супесями мощностью 10—12 м и приурочены к песчаным массивам Сам и Матайкум. Для этого комплекса отложений характерны своеобразные формы золотого рельефа (мелкобугристые, бугристо-ячеистые, грядовые и барханные пески). Соответственно формам рельефа наблюдается изменение структуры фотоизображения. Пятнисто-ячеистая структура характерна для массивов закрепленных бугристо-ячеистых песков. Чешуйчато-полосчатая структура фотоизображения соответствует участкам барханных и грядовых песков. Для их фотоизображения характерна также мелкая зернистость, связанная с распространением кустарниковой растительности. На склонах гряд фототон изменяется от серого до темно-серого. Причем участки незакрепленных песков соответствуют светлым оттенкам.

Хемогенные отложения (hIV) несколько различаются по литологическому составу, что находит отражение и в характере фотоизображения. Типичные корковые солончаки, приуроченные к днищам бессточных впадин, литологически представлены суглинками и иловатыми песками, подстилаемыми глинами. Характерна сильная огипсованность. Мощность этих отложений точно не установлена, но предположительно составляет 5—10 м. Фотоизображение их очень физиономично и характеризуется гомогенной структурой, очень светлым фототонном и четкими границами.

Пухлые солончаки, в большей своей части приуроченные к микропонижениям по периферии солончаковых впадин, литологически представлены иловатыми песками с прослоями суглинков мощностью до 3 м. Они лишены солевой корки, обычно характерной для типичных солончаков, что создает более

темный фототон (серый и светло-серый) и расплывчатость границ.

Рассмотренные комплексы плиоцен-четвертичных отложений и их дешифровочные признаки неразрывно связаны и с рельефом, и с характером гидрографической сети. По результатам дешифрирования составлена карта-схема (рис. 19). Анализ этой карты во взаимосвязи с геоморфологией, гидрографией, тектоникой, почвенно-растительным покровом позволит получить информацию о региональных закономерностях гидрогеологической и инженерно-геологической обстановки.

Условия формирования и гидродинамика подземных вод

Динамика подземных вод Северо-Западного Устьярта на одних участках тесно связана с геоморфологией, на других — со структурно-тектоническими условиями, а на третьих — полностью зависит от литологии водовмещающих пород и их гипсометрического положения. Анализ морфоструктурного плана позволяет выявить условия формирования первого от поверхности водоносного горизонта сарматских отложений в ландшафтах плато и четвертичных отложений песчаных массивов Сам и Матайкум.

Основным источником питания грунтовых вод этих массивов являются атмосферные осадки, а участки с различной инфильтрацией зависят от характера рельефа и литологии поверхностных отложений.

Интенсивность инфильтрации, а следовательно, и количество осадков, ежегодно пополняющих водоносный горизонт пресной водой, зависят от водоудерживающей способности почвенного покрова, площади водосбора и других факторов.

В ряде случаев комплексы форм экзогенного рельефа или отдельные формы служат индикаторами пресных линз грунтовых вод.

Так, песчаный массив Сам, сложенный эоловыми отложениями, аккумулирует атмосферные осадки с формированием подпесчаных линз пресных вод. Области разгрузки этих вод располагаются на окраине массива в солончаках, которые являются индикаторами участков разгрузки грунтовых вод. Приуроченность эоловых форм к осевым частям синклиналиных прогибов позволяет сделать вывод о взаимодействии вод подпесчаной линзы с водоносными горизонтами сарматских отложений. Рассмотрим детальнее условия формирования грунтовых вод в песчаном массиве Сам.

Пресные воды в виде отдельных линз приурочены к центральной, наиболее повышенной части песчаного массива, для которой характерно развитие перевеваемых и слабо закрепленных растительностью песков. Рельеф и подстилающие отложения

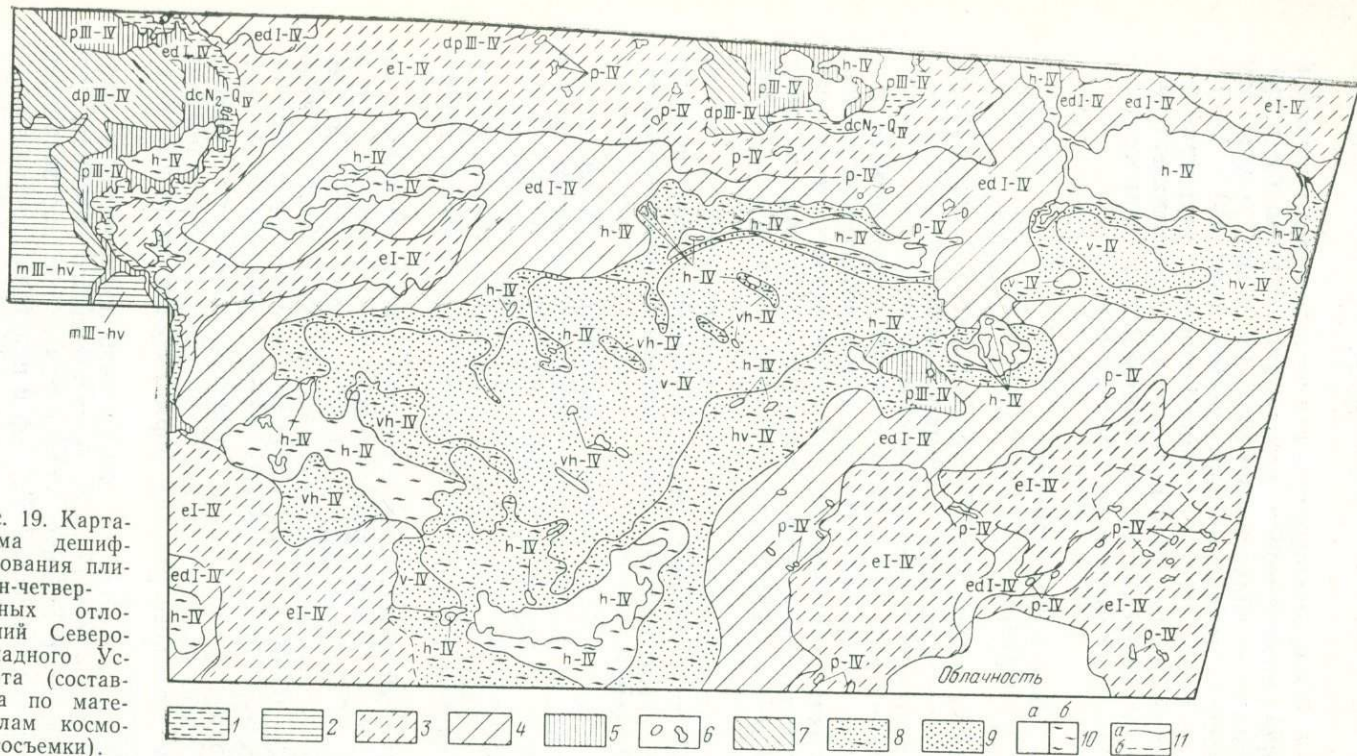


Рис. 19. Карта-схема дешифрирования плиоцен-четвертичных отложений Северо-Западного Устурта (составлена по материалам космодетекции).

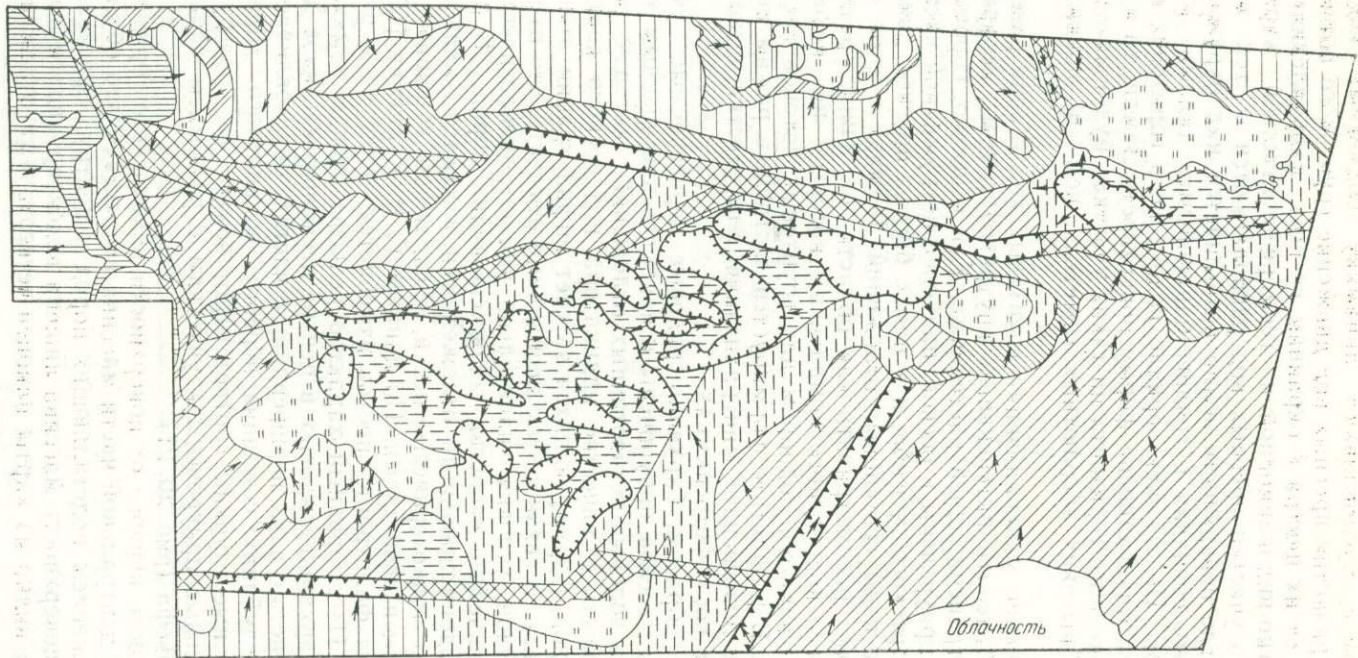
1 — делювиально-коллювиальные плиоцен-четвертичные ($dc N_2-Q_{IV}$) отложения овражно-оползневых склонов плато, мощность до 30 м; 2 — морские хвалыские ($m III-hv$) отложения, мощность до 16 м, 3 — элювиальные четвертичные ($e I-III$) отложения водораздельных поверхностей плато, мощность 0,5—1 м; 4 — элювиально-делювиальные четвертичные ($ed I-IV$) отложения склонов бессточных впадин, мощность до 5 м; 5 — пролювиальные верхнечетвертичные и современные ($p III-IV$) отложения шлейфов — конусов выноса, мощность от 5 до 10 м; 6 — пролювиальные современные ($p-IV$) отложения такировидных поверхностей плато, мощность до 2 м; 7 — делювиально-пролювиальные верхнечетвертичные и современные ($dp III-IV$) отложения склонов морской хвалынской равнины и пологих склонов плато-солончакам, мощность до 10 м; 8 — хемогенно-золотые современные ($hv-IV$) отложения зон перехода от песчаных массивов к плато и современным ($h-IV$) отложения солончаков (a — сорowych, b — пухлых), мощность (на периферии) до 3—5 м; 9 — золотые современные ($v-IV$) отложения песчаных массивов, мощность до 10—12 м; 10 — хемогенные комплексы пород, дешифрируются: a — уверенно, b — неуверенно

в основном и обуславливают динамику подземных вод. На участках развития пресных вод движение грунтового потока направлено от их центра к окраинам во всех направлениях. Из ландшафтно-индикационной и геоморфологической карт-схем видно, что участки пресных вод располагаются в тех местах массива, где поверхность земли возвышается над окружающей местностью, совпадая с грядово-барханскими типами морфоскульптуры. Но так как зеркало водоносного горизонта повторяет в некоторой степени форму поверхности Земли, то и уровень водоносного горизонта на таких участках будет находиться на более высоких абсолютных отметках, чем в понижениях массива.

Увеличение минерализации грунтовых вод в зоне разгрузки можно объяснить интенсивным внутригрунтовым испарением, а также транспирацией растениями. Как известно, соровые понижения приурочены к осевой, наиболее погруженной части Северо-Устьюртского прогиба, и к ним с бортов прогиба движутся грунтовые воды неогеновых отложений. В связи с этим солончаки можно рассматривать как области частичной разгрузки миоценового водоносного комплекса, которые на некоторых участках являются подпором для грунтовых потоков песчаных массивов. В результате формируется застойный режим подземных вод и повышенная минерализация. Эти участки четко опознаются на космофотоснимках.

Таким образом, барханно-грядовые перевеваемые участки песчаного массива приурочены к наиболее повышенным частям комплекса эоловых четвертичных отложений, которые можно рассматривать в качестве индикатора водоносного комплекса пресных вод, формирующихся за счет инфильтрации атмосферных осадков. В связи с этим необходимо отметить, что на гидрогеологические условия значительно влияют литологические и водно-физические свойства водовмещающих пород. В данном случае водовмещающими отложениями являются мелкозернистые, реже тонкозернистые пески, обладающие хорошими фильтрационными свойствами. По данным Г. В. Куликова [80], коэффициент фильтрации песков изменяется от 0,1 до 9, реже до 20 м/сут. Неоднородный характер рельефа песков, изменяющегося от барханно-грядовых в центре песчаных массивов до бугристо-ячеистых в их периферийных частях, обуславливает различия в глубинах залегания первого водоносного горизонта. Минимальные глубины соответствуют зонам их разгрузки, а максимальные приурочены к участкам с развитием барханских форм рельефа (рис. 20, 21).

Мощность первого от поверхности водоносного горизонта от окраин к центральной части массива возрастает, что обусловлено погружением подстилающих пород к центру прогиба. Поскольку поверхность массива лишена водонепроницаемого покрова, что видно из карты плиоцен-четвертичных отложений, то



- 1

 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8
 9
 10
 11
 12
 13
 14

Облачность

область питания водоносного горизонта полностью совпадает с областью его распространения.

Анализируя структурно-тектоническую карту-схему, можно сделать вывод о том, что в связи с воздыманием ложа подстилающих пород общее движение грунтового потока направлено с востока на запад. Однако внутри массива движение имеет различные направления.

Максимальное количество солей скапливается в солончаковых понижениях, которые, как указывалось, являются достоверными гидроиндикаторами.

Представляет интерес конфигурация соров в виде спрямленных контуров, что, по всей вероятности, связано с разломами (см. рис. 17, 18). По этим разломам возможна разгрузка подземных вод миоценовых отложений и, по-видимому, подземных вод меловых отложений. На участках развития солончаковых образований осуществляется гидравлическая связь водоносного горизонта четвертичных отложений с нижележащими водоносными горизонтами.

В пределах песчаного массива тектонические нарушения, по которым было бы возможно поступление подземных вод из глубоких горизонтов, отсутствуют. Таким образом, основным источником питания подземных вод песчаного массива Сам являются атмосферные осадки, не исключено также влияние конденсации водяных паров.

При рассмотрении гидродинамики подземных вод в районе песчаного массива Матайкум, приуроченного к одноименной мульде, выявлены некоторые особенности, позволяющие рас-

Рис. 20. Гидродинамическая карта-схема Северо-Западного Устюрта (первые от поверхности водоносные горизонты миоценовых и плиоцен-четвертичных отложений) (составлена по материалам дешифрирования космофотоснимков). По Н. М. Крапильской и М. И. Бурлешину.

Основные области питания, движения и разгрузки подземных вод четвертичных отложений: 1 — области питания песчаных массивов; 2 — области разгрузки: а — внутригрунтовое испарение незначительно преобладает над инфильтрацией, б — испарение преобладает над инфильтрацией; 3 — область разгрузки подземных вод четвертичных и миоценовых отложений.

Области питания, движения и разгрузки подземных вод миоценовых отложений: 4 — повышенного питания (инфильтрация значительно преобладает над испарением атмосферных осадков); 5 — незначительного преобладания инфильтрации над испарением; 6 — преобладания поверхностного стока над инфильтрацией; 7 — разгрузки подземных вод миоценовых отложений по тектонически ослабленным зонам (данные подтверждены наземным обоснованием); 8 — частичной разгрузки подземных вод миоценовых отложений по тектонически ослабленным зонам; 9 — разгрузки подземных вод миоценовых отложений в чинках за счет выклинивания на дневную поверхность; 10 — питания спорадически распространенного водоносного горизонта пролювиальных отложений; 11 — питания спорадически распространенного водоносного горизонта верхнечетвертичных хвалынских отложений; 12 — распространения водоупорных пород, выходящих на поверхность земли, разделяющих водоносные горизонты (олигоценные отложения). Прочие обозначения: 13 — направление движения подземных вод; 14 — границы гидродинамических областей

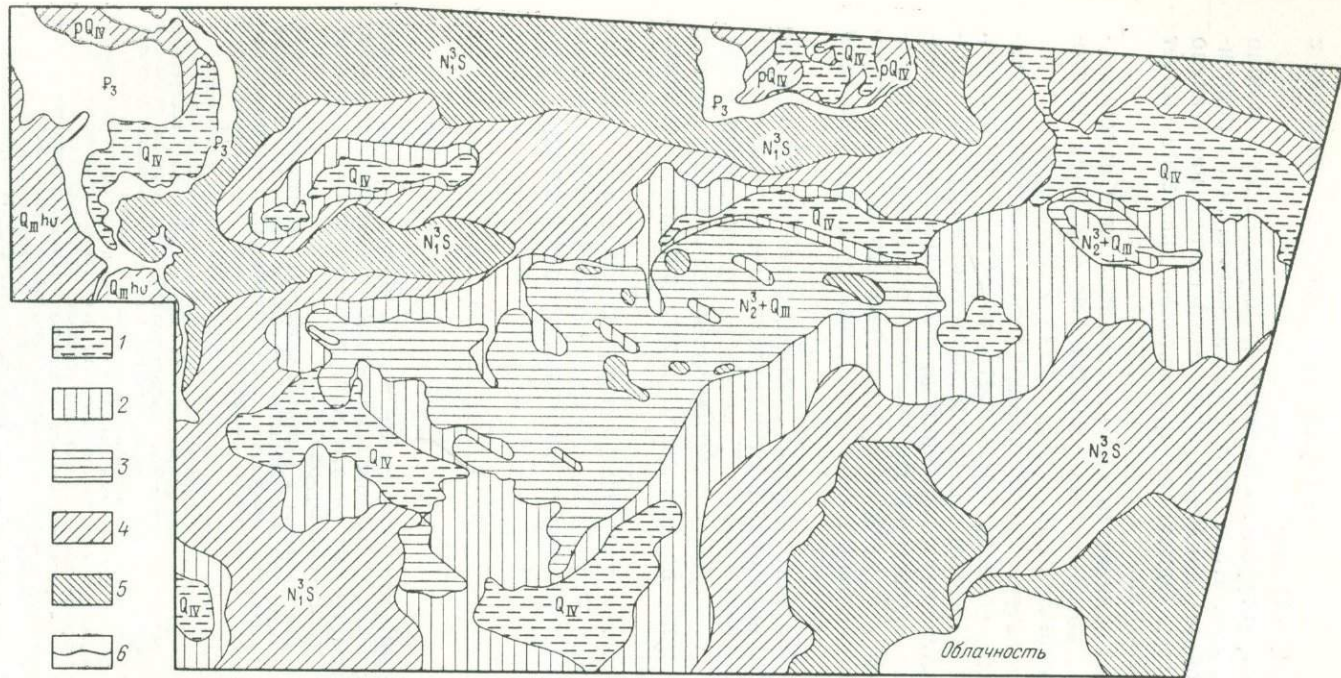


Рис. 21. Карта-схема глубин залегания первых от поверхности водоносных горизонтов Северо-Западного Устьурта (составлена по материалам дешифрирования космофотоснимков).

Распространение водоносных горизонтов: Q_{IV} — водоносный горизонт современных сортовых отложений; $Q_{III\text{ }hv}$ — водоносный горизонт мор-водоносный горизонт пролювиальных отложений; $N_2^3+Q_{III}$ — водоносный горизонт верхнеплиоценово-верхнечетвертичных нерасчлененных отложений; P_3 — водоупорные олигоценые отложения, выходящие на поверхность, разделяющие водоносные горизонты.

Глубины залегания грунтовых вод (в м): 1 — 0–2; 2 — 2–5; 3 — 2–10; 4 — 5–10; 5 — более 10; 6 — границы участков с различной глубиной залегания грунтовых вод.

современных сортовых отложений; $Q_{III\text{ }hv}$ — водоносный горизонт мор-водоносный горизонт пролювиальных отложений; $N_2^3+Q_{III}$ — водоносный горизонт верхнеплиоценово-верхнечетвертичных нерасчлененных отложений; P_3 — водоупорные олигоценые отложения, выходящие на поверхность, разделяющие водоносные горизонты.

смотреть их отдельно. Грунтовые воды здесь, так же как и в массиве Сам, приурочены к песчаным отложениям.

На космических снимках по ландшафтным признакам дешифрируются несколько глубинных разломов (см. рис. 18, 20), по которым осуществляется разгрузка вод сарматских, а возможно, и более глубоких горизонтов.

Учитывая также, что участок, занятый песками, занимает небольшую площадь, можно сделать вывод, что грунтовые воды песков не представляют самостоятельного водоносного горизонта, а вместе с водами сарматских отложений образуют единый водоносный горизонт. Область питания водоносного горизонта массива Матайкум совпадает с площадью его распространения. Питание происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков.

По всему массиву распространены в основном соленые воды и рассолы. Повышенная минерализация вод связана с наличием большого количества солончаков. Из геоморфологической карты следует, что понижение территории происходит в сторону массива. По данным А. Л. Яншина [169], массив Матайкум приурочен к центральной части Северо-Устьюртского прогиба. Поэтому можно предполагать, что движение грунтовых вод тоже направлено к массиву. Но так как солончаки окаймляют массив со всех сторон, то соленые воды, образовавшиеся в них, проникают в песчаную толщу.

Воды пролювиальных отложений приурочены к конусам выноса, расположенным вдоль чинков у их подножий. По площади этот водоносный комплекс не имеет сплошного распространения. Существование подземных вод в пределах пролювиальной равнины подтверждается выделением на снимке фотоаномальных зон спорадического распространения (темный тон), окаймляющих солончак Ащиктайпак почти со всех сторон. Темный тон обусловлен растительностью, которая в свою очередь указывает на неглубокое залегание грунтовых вод.

Основную роль в их питании играют воды атмосферных осадков, аккумулирующие на площади их распространения. Кроме того, как известно, в чинке из толщи миоценовых отложений дренируется значительное количество воды. Смешиваясь, эти воды движутся в наиболее пониженные участки рельефа, где они аккумулируются, обуславливая образование линз. Разгрузка пролювиальных вод осуществляется за счет испарения [69], но не исключается возможность передвижения их в солончаковые впадины на тех участках, где они примыкают к солончакам, но залегают на более высоких абсолютных отметках, например в районе северной оконечности сора Ащиктайпак.

Водоносный комплекс морских четвертичных отложений на снимке дешифрируется неуверенно, границы расплывчаты, фототон серый без аномалий, структура гомогенная.

Подземные воды сарматского водоносного горизонта, приуроченные к известнякам, имеют пластово-трещинный характер. Зоны трещиноватости уверенно дешифрируются на космических снимках по фотоаномалиям, которые создаются цепочками такыров и подчеркиваются влаголюбивой растительностью.

В районе Мынсуалмасской ступени отдешифрированы сульфозонно-карстовые котловины типа «урпа», свидетельствующие о наличии потока подземных вод, обладающего значительными скоростями фильтрации.

Поверхностные воды неразрывно связаны с грунтовыми водами и поэтому рассматриваются как гидрогеологические индикаторы. Водоносные горизонты Северо-Западного Устьюрта как района недостаточного увлажнения питаются водами временных поверхностных водотоков.

Имея данные о поверхностных водах, можно составить представление об общей водоносности района — питании и разгрузке водоносного горизонта, глубине залегания их зеркала, направлении движения подземных вод, степени минерализации — и выявить участки распространения пресных подземных вод.

При использовании карты-схемы поверхностного стока, составленной по материалам космофотосъемки, были ориентировочно выделены области повышенного питания, приуроченные к поверхностям водоразделов (инфильтрация значительно преобладает над испарением), области незначительного преобладания инфильтрации над испарением, приуроченные главным образом к участкам с развитием такыровидных поверхностей и со слабо развитым поверхностным стоком, области преобладания поверхностного стока над инфильтрацией. Эти области приурочены к склонам водоразделов.

Основным источником питания в районе являются атмосферные осадки. Так как сарматский водоносный горизонт не изолирован от инфильтрующихся осадков сколько-нибудь выдержанным водоупором, область питания его совпадает с областью распространения.

Наличие в пределах района антиклинальных и синклиналиных структур II порядка обуславливает сложные условия движения грунтовых вод.

На антиклинальных поднятиях в связи с приподнятостью водоупорных пород зеркало грунтового потока также приподнято, в связи с чем движение грунтовых вод направлено от антиклинальных поднятий к тектоническим впадинам, являющимся зонами их разгрузки. Подземные воды самой северной части района, приуроченные к Мынсуалмасскому поднятию, направлены к солончакам Самской впадины, являющимся областью разгрузки. Разгрузка на этих участках происходит за счет дренажа солончаковыми впадинами, а затем за счет интенсивного испарения с поверхности этих солончаков через мало-

мощный суглинистый чехол, что видно из разреза, составленного по материалам полевых работ (см. рис. 27).

Поскольку солончаки Джарын-Кудук и Сам питаются водами сарматских отложений, то испарение с их поверхности оказывает прямое влияние на разгрузку сарматского водоносного горизонта. Возможность интенсивного испарения можно объяснить тем, что глубина залегающих вод на таких участках не превышает 2—3 м и зависит от общего количества выпавших осадков, величина которых различна в разные годы. Таким образом, грунтовые воды сарматских отложений связаны с солончаками, которые являются их индикаторами.

С юго-востока на северо-запад к Самской и Матайкумской впадинам движется поток грунтовых вод сарматских отложений, формирующийся на Актумсыкском поднятии. Поток характеризуется радиально расходящейся формой в плане. Здесь в сарматских и тортонских отложениях выделяется единый гидравлически связанный водоносный горизонт. Региональным водоупором грунтовых вод служат палеогеновые глины и мергели. Фильтрационные свойства водовмещающих пород неоднородны. В пределах северного склона Актумсыкского вала сарматские известняки отличаются высокой трещиноватостью (на снимке четко выделяются ослабленные тектонические зоны). Коэффициент фильтрации достигает 58 м/сут [80]. По пути движения грунтовых вод к зонам разгрузки фильтрационные свойства пород резко снижаются, их коэффициенты фильтрации уменьшаются до 0,7—0,8 м/сут. Б. И. Грибанов установил, что водовмещающие отложения неогена в пределах тектонических поднятий имеют более высокую трещиноватость и характеризуются лучшими фильтрационными свойствами. Эти породы, слагая зону аэрации на участках положительных структур, также отличаются высокой трещиноватостью и раскарстованностью. В связи с этим основное питание поток грунтовых вод получает в пределах северного склона Актумсыкского вала.

По всей площади транзита поток грунтовых вод получает дополнительное питание за счет инфильтрации атмосферных осадков. Вся территория характеризуется слабой дренированностью. Поток глубоко погружен, и лишь в северной части зеркало грунтовых вод приближается к дневной поверхности. На участках глубокого погружения грунтовые воды в почвообразовательных процессах участия не принимают. Преобладает горизонтальный водообмен и происходит выщелачивание солей.

Разгрузка потока грунтовых вод осуществляется в районе Самских солончаков путем непосредственного выклинивания и последующего испарения. Водообмен в этой зоне преимущественно вертикальный, имеют место процессы соленакопления.

Глубины залегания грунтовых вод

Результаты дешифрирования космофотоснимков Северо-Западного Устюрта позволяют определить глубины залегания грунтовых вод до 10 м в пределах следующих интервалов: до 2 м; 2—5; 5—10 и более 10 м (см. рис. 21).

При оценке глубин залегания грунтовых вод по материалам сравнительного анализа данных аналитического дешифрирования в первом приближении устанавливается, что наибольшие глубины залегания уровня грунтовых вод отмечаются на водораздельных пространствах нерасчлененной равнины плато, наименьшие — в солончаковых впадинах.

В общих чертах зеркало первого от поверхности земли водоносного горизонта повторяет рельеф. От днищ солончаков глубины залегания зеркала постепенно увеличиваются в сторону водораздельных участков. Глубины залегания грунтовых вод в указанных выше интервалах можно достоверно индцировать с помощью геоморфологических и геоботанических особенностей ландшафтов. Такие данные содержатся в ландшафтно-индикационной и геоморфологической картах-схемах.

По данным этих карт глубина залегания уровня воды в солончаковых впадинах находится в интервале до 2 м. Площади с глубиной до воды 2—5 м оконтуривают солончаки. На участках межрядовых и межбарханых понижений песчаных массивов, по периферии слабозакрепленных песков и в котловинах выдувания глубина до воды находится также в интервале 2—5 м, но на песчаных грядах воды вскрываются обычно на глубине 6—7, реже 10 м. Поэтому территория, занятая песчаными массивами, нами объединена в общий контур с интервалом глубин 2—10 м. Близко залегающие (до 1 м) к поверхности высокоминерализованные воды индцируются эктоярусами сложных урочищ 6, 7 (см. рис. 18).

В восточной части песков Сам и в северной части песков Матайкум урочища 11, 12 индцируют воды на глубине до 2—3 м, на буграх — 6—7 м.

В межрядовых понижениях по периферии слабозакрепленных песков Сам эктоярусы урочища 11 индцируют глубины залегания грунтовых вод до 2—2,5 м.

Площади с интервалом глубин до воды 5—10 м расположены на водораздельных участках плато, примыкающих к впадинам Сам и Матайкум. Так, с юго-востока к песчаному массиву Матайкум примыкают участки с черносахсаульником, который указывает на глубину до воды 5—8 м. Грунтовые воды с рассматриваемым интервалом глубин распространены к северу от солончака Асмантай-Матай и к западу и северо-западу от песчаного массива Сам.

На водораздельных поверхностях развита главным образом ксерофитная растительность, не связанная с грунтовыми водами. Они залегают близко к поверхности в понижениях рельефа, занятых полыньниками с участием фреатофитных видов и могут индигировать грунтовые воды до глубины 10 м [20, 21]. Большинство колодцев на этих участках вскрывают воду на глубине 3—8 м.

В обширных понижениях сформированы такыры и такыровидные поверхности, являющиеся в данном районе индикаторами глубин залегания грунтовых вод 5—10 м.

На остальной территории распространены грунтовые воды с глубиной залегания 10—30 м. Выделить эти глубины на КФС не представляется возможным, поэтому мы их выделяем по результатам наземных работ. Так, по данным бурения, а также обследования колодцев глубины залегания грунтовых вод в сарматских отложениях в северной и западной частях района исследований изменяются от 4 до 20 м.

Уменьшение глубины залегания происходит от антиклинальных поднятий к осевой части Северо-Устьюртского прогиба. Наибольшую глубину зеркала грунтовых вод сарматских отложений можно отметить на северном склоне Актумсыкского поднятия. По данным Г. В. Куликова [80], глубина залегания грунтовых вод достигает здесь 35 м.

Минерализация грунтовых вод

Ведущую роль в оценке минерализации грунтовых вод по космодатаснимкам играет ландшафтная индикация. Общая минерализация показана на карте-схеме (рис. 22) с площадной характеристикой распределения грунтовых вод. На основе проведенных гидрохимических исследований в районе работ были выделены линзы пресных подземных вод (в песчаном массиве Сам) с минерализацией до 1 г/л, а также участки распространения воды с минерализацией 1—3, 3—5, 5—10 и более 10 г/л. Линзы пресных вод песчаного массива залегают на общем фоне солоноватых и соленых вод [69]. Характер минерализации грунтовых вод хорошо отражается в почвенно-растительном покрове. Анализ ландшафтно-индикационной карты-схемы позволяет заключить, что в районе Северо-Западного Устьюрта отмечается большое разнообразие видового состава растительных сообществ. Так, на территории песков Сам широко распространены комплексы растительности — индикаторы минерализации грунтовых вод (см. рис. 17, 22). Они индигируют пресные воды на глубине до 2 м (урочище 10).

Образование линз пресных или слабосоленых вод связано с наличием барханных или грядово-ячеистых слабозакреп-

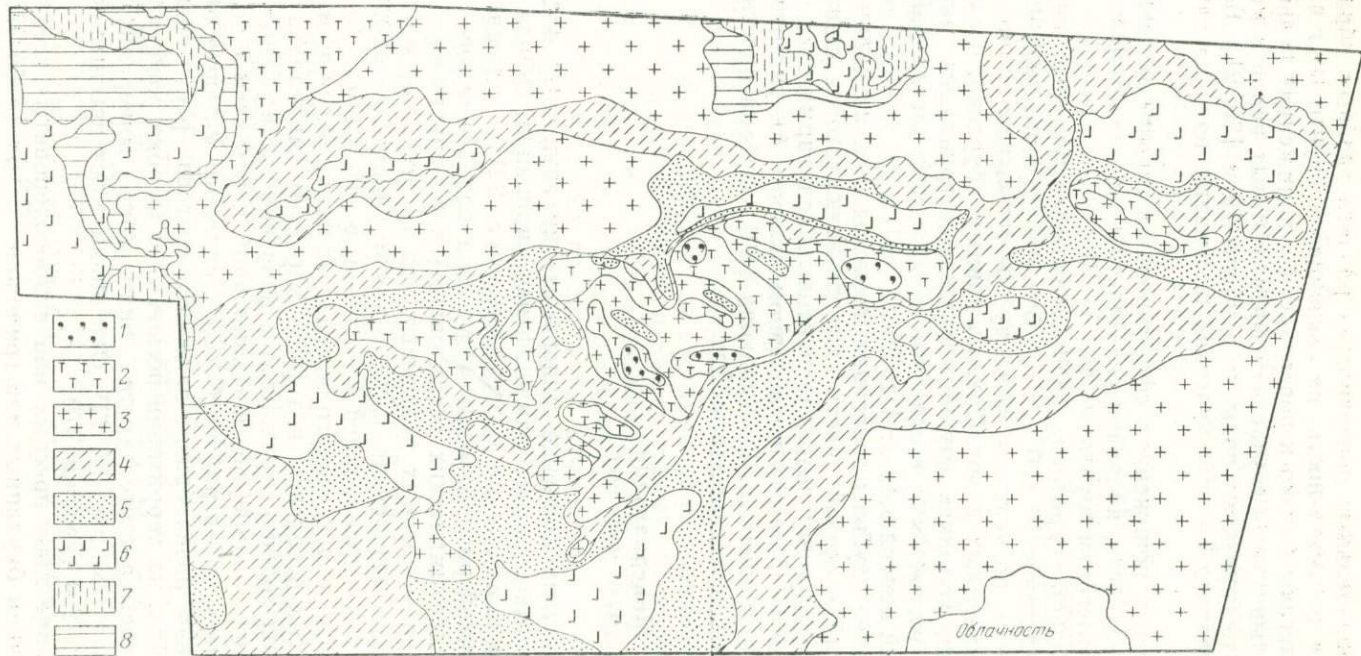


Рис. 22. Карта-схема минерализации грунтовых вод (составлена по материалам дешифрирования космофотоснимков). По Н. М. Крапильской.

1 — пресные, минерализация до 1 г/л; 2 — слабосоленые, минерализация 1—3 г/л; 3 — соленые, минерализация 3—5 г/л; 4 — слабосоленые, минерализация 5—10 г/л; 5 — соленые, минерализация 10—30 г/л; 6 — рассолы, минерализация более 30 г/л; 7 — воды пестрой минерализации; 8 — водоупорные породы

ленных песков. В долинообразных понижениях с солончаками воды имеют высокую минерализацию. Близкую минерализацию имеют грунтовые воды отдельных котловин (урочище 8). В северной части песков Сам галофитно-тростниковые сообщества развиты в дефляционных котловинах и индицируют очень соленую воду. Шурф, заложенный в одной из таких котловин, вскрыл воду с минерализацией более 17 г/л (по данным химического анализа).

Урочища 3, 4, 14, приуроченные, как правило, к солончаковым котловинам в межрядовых понижениях песков Сам, могут свидетельствовать об очень высокой минерализации, почти до концентрации рассолов. Рассолы высокой концентрации (до 154 г/л) в исследуемом районе, по данным Д. Д. Вышивкина, индицируются сарсазанниками, произрастающими по периферии крупных солончаков — Сам, Асмантай-Матай и Джарык-Кудук.

Сарсазанники с участием тамарикса встречаются на пухляках и индицируют соленые воды на глубине 1,5—2 м. Наличие их на участках, занятых саксаульником, свидетельствует о присутствии соленых вод на глубине 4—6 м (урочище 7).

Исходя из вышеизложенного, можно сделать некоторые выводы относительно минерализации грунтовых вод песчаного массива Сам. Соленые воды занимают большую площадь массива. Пресные распространены в виде отдельных линз. На участках массива, где отсутствуют солончаки, распространение пресных вод полностью совпадает с площадью распространения песчаных отложений, а на тех участках, где по окраинам располагаются солончаки, линзы пресных вод оттесняются солеными водами к центру массива.

На формирование подземных вод, как известно, оказывает влияние также литология пород, их физические и химические свойства. Дешифрирование типов песков позволило уточнить их гидрогеологические характеристики. Пески являются незасоленными грунтами, что видно из анализов водных вытяжек. Степень минерализации воды от периферии к центру массива уменьшается. Доказано, что на засоление вод массива основное влияние оказывают солончаки, располагающиеся по окраинам массива и в его центре. Воды атмосферных осадков, инфильтруясь через засоленную толщу грунтов, обогащаются солями и превращаются в воды повышенной минерализации и рассолы. В крупных бессточных озерно-соровых впадинах с неглубоко залегающими грунтовыми водами (менее 3 м) формирование химического состава вод в основном обусловлено влиянием испарения [69, 80].

В песчаном массиве Матайкум гидрогеологами Актюбинской экспедиции отмечается лишь один участок с минимальным содержанием солей в центральной части массива. Результаты хи-

мических анализов показали минерализацию 5—9 г/л. Обширная котловина, расположенная в западной части песчаного массива, почти на всей территории покрыта кустарничково-злаково-белопопынными сообществами — индикаторами соленых и солоноватых вод. Повышенная минерализация грунтовых вод северной и северо-восточной частей песков Матайкум объясняется непосредственной их близостью к сору. Высокую концентрацию минеральных солей ряд исследователей связывает с наличием в районе массива большого количества солончаковых участков.

Незначительная степень переветренности песка и небольшая площадь дефляционных котловин, лишенных растительности, не позволяет судить о наличии под этими грядами сколько-нибудь значительных пресноводных линз, так как происходит «самозаращение» песчаных пространств. Химический состав подземных вод изменяется в той же последовательности, что и в Самском массиве.

Многими исследователями отмечено, что минерализация воды в сарматских известняках зависит от структурного положения пласта, положения водоносного пласта в разрезе, т. е. является ли он первым или вторым от поверхности. По этим причинам во многих колодцах, расположенных на расстоянии нескольких десятков метров друг от друга, вода имеет различную минерализацию, состав и тип.

Из приведенной карты-схемы (см. рис. 22) следует, что области повышенной минерализации (>10 г/л) приурочены к солончакам в осевой части Северо-Устьюртского прогиба. В направлении этих же впадин происходит изменение химического состава, который, как известно, зависит от минерализации. До 1 г/л — воды гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевые и смешанные. При минерализации 1—3 г/л преобладает сульфатно-хлоридно-натриево-магниевый тип. Воды с минерализацией 3—15 г/л относятся в основном к хлоридно-сульфатно-натриевому и сульфатно-хлоридно-натриевому типам. Воды с минерализацией 15 г/л относятся к хлоридно-натриевому типу [69].

По данным гидрохимического опробования колодцев известно, что в верхних слоях водоносной толщи содержатся менее минерализованные воды. Опреснение верхних слоев водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации вод атмосферных осадков.

На водораздельных участках плато вне песчаных массивов и солончаков в качестве индикатора минерализации выступают эктоярусы урочища 18. Они приурочены к днищам карстово-суффозионных котловин типа «урпа» в районе Мынсуалмасской морфоструктуры. В основном колодцы на этих участках вскрывают воду на глубине 3—8 м. Воды слабосоленоватые и пресные. В большинстве случаев минерализация их не превышает

3 г/л и лишь в отдельных случаях достигает 5 г/л и несколько более. Вода главным образом хлоридно-сульфатно-магниево-кальциево-натриевого типа, а в отдельных случаях — гидрокарбонатно-хлоридно-магниево-кальциево-натриевого.

На северном склоне Актумсыкской морфоструктуры по данным Г. В. Куликова [80] воды сарматских отложений имеют минерализацию от 3 до 7 г/л. По пути движения подземных вод минерализация возрастает до 10—12 г/л и в областях разгрузки становится максимальной.

Ориентировочно о степени минерализации на этом участке можно судить по характеру экзогенных форм рельефа. Здесь в обширных понижениях рельефа развиты такыры.

Наряду с изменением минерализации и типа воды изменяется и ее химический состав, т. е. происходит смена преобладающих компонентов.

По данным бурения воды сарматских отложений характеризуются пестротой химического состава и минерализации, изменяющейся от 2 до 6 г/л. Пресные воды с минерализацией до 3 г/л, как правило, приурочены к положительным морфоструктурам, где более активное движение грунтовых вод. В отрицательных морфоструктурах, где существует полустойный режим, величина минерализации достигает максимальных пределов. В области разгрузки, где уровень грунтовых вод ближе к поверхности, минерализация достигает 35 г/л [69]. Увеличение минерализации здесь можно объяснить интенсивным внутригрунтовым испарением, транспирацией растениями. В распределении ионов по площади в зависимости от минерализации наблюдается некоторая закономерность.

В центральных частях линз пресных вод, где минерализация до 0,5 г/л, основным компонентом является гидрокарбонат-ион и кальций, реже — магний и натрий. Воды с минерализацией 0,5 г/л в большинстве имеют смешанные ионы — гидрокарбонатного с хлоридным или сульфатным. Увеличение содержания анионов Cl и SO_4 происходит по направлению движения подземных вод. Содержание гидрокарбонатного иона в некоторой степени уменьшается и происходит увеличение аниона хлорида и катиона натрия. Это объясняется тем, что в водах с малой минерализацией растворимость гипса уменьшается, а при увеличении минерализации растворимость гипса, содержащегося в породе, увеличивается. Содержащиеся в воде ионы кальция при соединении с гидрокарбонатными ионами карбоната кальция (CaCO_3) выпадают в осадок, что приводит к снижению содержания гидрокарбонатных ионов. С повышением минерализации происходит быстрое увеличение содержания хлоридов, так как более минерализованные воды обычно формируются за счет их накопления.

Влагообмен в зоне аэрации песчаных массивов

Грунты зоны аэрации песчаных массивов представлены мелкозернистыми эоловыми песками. Грунтовые воды залегают здесь на глубинах от 25 до 30 м.

Режим влажности грунтов в этом районе находится в полной зависимости от количества выпадающих осадков, а также от величины внутригрунтового испарения.

Для более полного анализа водообмена и для проведения экстраполяции по площади в целях прогноза питания необходим расчет и построение палеток влажности [164]. Метод палеток применим в основном для условий установившегося или близкого к нему движения влаги, что обычно бывает на достаточно больших глубинах зоны аэрации. В этом случае сопоставление естественной влажности с равновесной эпюрой позволяет установить, какие процессы преобладают в зоне аэрации: питание, испарение, десукция или же влагообмен грунтовых вод с атмосферой исключен.

Чтобы получить представление об этих процессах, рассмотрим результаты опытных наземных работ по изучению зоны аэрации. При достаточно большой ее мощности В. Н. Чубаров выделяет три характерные зоны, а при небольших мощностях — две: верхнюю, где, как правило, процессы водообмена имеют неустановившийся характер, и нижнюю с влажностью, резко возрастающей с глубиной до полного влагонасыщения. В какой-то степени эти зоны перекрывают друг друга.

Режим и распределение влажности рассматривались в верхних слоях почво-грунтов (в пределах зоны активного водообмена, мощность которой 5—7 м). Это связано с тем, что в данном интервале глубин процессы водообмена обусловлены ландшафтными факторами. Так, отчетливо дешифрирующиеся на КФС участки барханных песков характеризуются относительно однородным строением поверхности, подвижностью эолового рельефа; почти полным отсутствием растительности и, следовательно, расходом влаги на десукцию.

Максимальные запасы влаги в грунтах зоны аэрации соответствуют периоду весеннего подъема уровня грунтовых вод и увеличению атмосферных осадков. В этот период внутригрунтовое испарение в зоне аэрации незначительно и не оказывает существенного влияния на грунтовые воды.

Понижение уровня грунтовых вод в летние месяцы связано с почти полным отсутствием атмосферных осадков, резким уменьшением влажности в грунтах зоны аэрации за счет внутригрунтового испарения. Питание грунтовых вод в этот период практически не происходит. Осенью влажность в грунтах несколько возрастает за счет увеличения атмосферных осадков.

Внутригрунтовое испарение незначительно. Уровень грунтовых вод повышается.

Для более полной характеристики водообмена в котловинах барханных песков приведены эпюры на сентябрь (конец периода летнего иссушения). К этому времени целиком формируется сухой слой.

Из графиков эпюр влажности (рис. 23, 24) следует, что наиболее резкие ее изменения наблюдаются в поверхностном слое грунта в интервале глубин 0,0—0,5 м. Здесь в это время года формируется сухая зона с влажностью 0,2—0,4%. В пределах этой зоны жидкий влагоперенос исключен и испарение происходит только за счет переноса влаги в виде пара.

Интервал глубин 0,5—1,2 м характеризуется замедленным водообменом. Здесь формируется зона влажности разрыва капилляров (ВРК). В сентябре—октябре (период наблюдений) влажность в ней низка (2—3%). Поскольку в этот период на данных глубинах затухает физическое испарение, ее значения в пределах этой зоны зависят главным образом от количества осадков.

Глубже 1,2—1,4 м влажность колеблется в пределах 2—4% и затухает с глубиной. В пределах этой зоны возможен

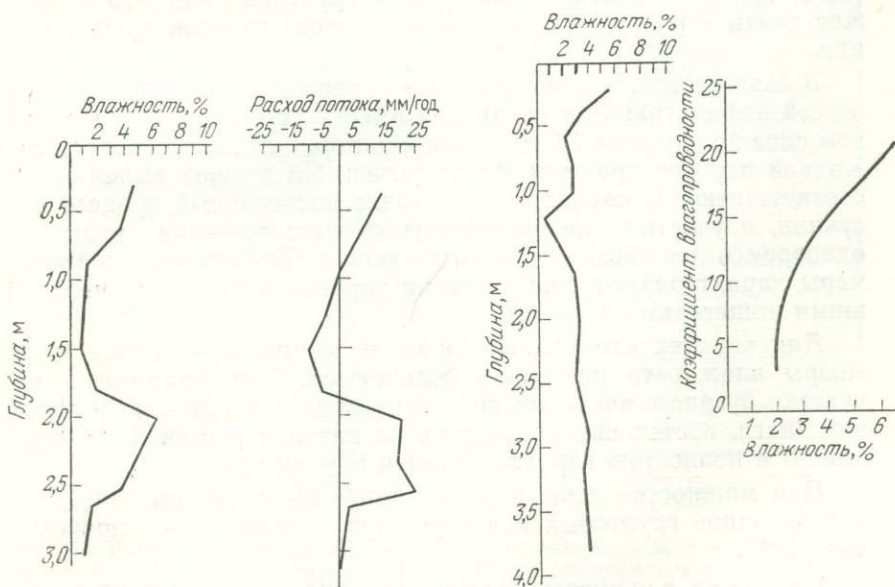


Рис. 23. Эпюры влажности и расхода влаги в зоне аэрации (бугристо-ячеистые пески)

Рис. 24. Эпюра влажности и график зависимости коэффициента влагопроводности от влажности в зоне аэрации (котловина барханных песков)

лишь нисходящий поток влаги, указывающий только на возможность процессов инфильтрации и стекания.

Описанный выше режим влажности относится в основном к участкам с мощностью зоны аэрации более 10 м.

Для количественной оценки питания грунтовых вод были рассчитаны коэффициенты влагопроводности и построены графики зависимости коэффициента влагопроводности от влажности.

Для участка эдюры, где движение влаги можно в первом приближении считать установившимся (глубина более 1—2 м), т. е. происходит процесс инфильтрации, интенсивность атмосферного питания составляет 12—13 мм/год (см. рис. 23).

Испарение влаги осуществляется за счет транспирации растений. Наиболее важное индикационное значение имеют фреатофиты (тростник, злаки), связанные корневыми системами с грунтовыми водами, которые они интенсивно расходуют на транспирацию. Транспирация растительного покрова активно воздействует на режим неглубокозалегающих подземных вод. В. Н. Островский приводит данные по их суточной ритмичности [107].

На основе вышеизложенного можно отметить, что транспирация приводит к понижению уровня грунтовых вод, что не может найти отражения в режиме влажности грунтов зоны аэрации.

В связи с тем, что на участках заросших песков кроме процессов инфильтрации и испарения имеет место десукция, в верхнем слое до глубины 1,5 м влажность пород настолько мала, что жидкий перенос практически исключен. На эдюрах выделяются соответствующие слои, где происходит интенсивный процесс десукции, и участки, где происходит процесс стекания влаги с одновременным расходом ее на десукцию. Описанные выше примеры характеризуют зону аэрации заросших песков с небольшими мощностями 3,5—4 м.

Для верхних слоев зоны аэрации мощностью более 10 м эдюры влажности несколько отличаются. Так, например, на участке бугристо-ячеистых песков нисходящий поток атмосферной влаги, постепенно расходуясь на питание растений, на глубине 5 м полностью перехватывается корнями растений.

При мощностях зоны аэрации более 20 м ни питание, ни расходование грунтовых вод через зону аэрации не происходит [164].

На эдюре влажности, соответствующей участку закрепленных песков с мощностью зоны аэрации менее 3 м, можно установить сочетание трех основных процессов водообмена: инфильтрации, испарения и десукции.

Анализируя для какого-либо участка песчаного массива эдюры влажности и данные по определению зависимостей

между влажностью и коэффициентом влагопроводности, можно установить тип питания грунтовых вод через зону аэрации.

Используя для экстраполяции этих данных космические снимки, можно охарактеризовать условия питания через зону аэрации в пределах каждого контура фотоизображения, поскольку наземные опытные работы были проведены в пределах всех типов ландшафтных комплексов песчаных массивов.

В связи с этим использование КФС позволило составить карту-схему районирования песчаного массива по типам питания грунтовых вод через зону аэрации (рис. 25). Основными индикаторами при этом послужили экотярусы сложных урочищ, выделенные на ландшафтно-индикационной схеме (см. рис. 17).

Области распространения инфильтрационного типа питания приурочены, как правило, к ландшафтам барханных песков. Они дешифрируются на КФС по специфической серповидной форме. Структура их фотоизображения гомогенная, обусловленная обнаженностью песков, а фототон светло-серый. Расхо-

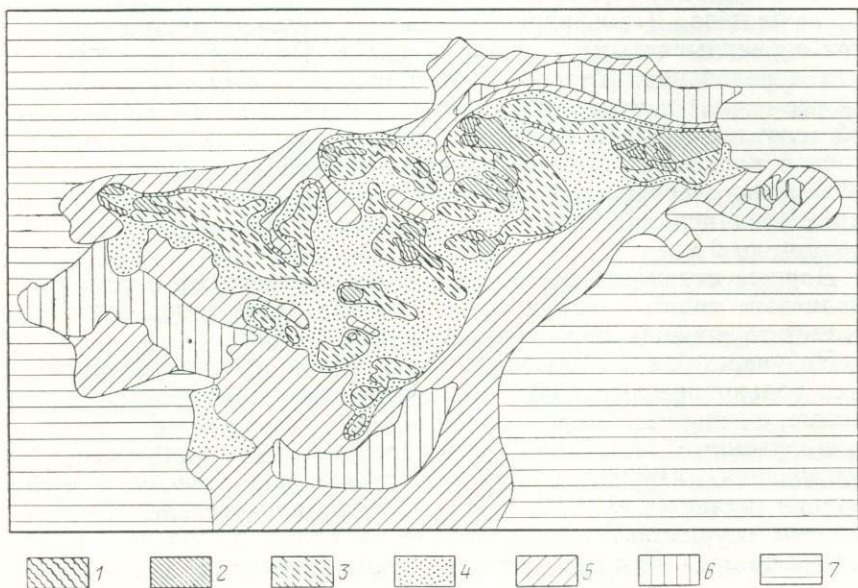


Рис. 25. Карта-схема типов питания грунтовых вод через зону аэрации в песчаном массиве Сам (составлена по материалам космофотосъемки).

Типы питания грунтовых вод: 1 — инфильтрационный (современные переваемые барханные пески); 2 — равновесный и реже инфильтрационный (в прошлом), мощность зоны аэрации более 20 м (на участках слабозакрепленных грядовых песков); 3 — десуктивный, мощность зоны аэрации от 5 и более 10 м (на участках закрепленных грядовых и бугристых песков); 4 — смешанный с преобладанием десуктивного, мощность зоны аэрации менее 5 м (на участках закрепленных бугристо-ячеистых песков); 5 — испарительный и смешанный, мощность зоны аэрации 2–5 м (на равнинах с развитием пухлых солончаков); 6 — испарительный, мощность зоны аэрации до 2 м (в днищах крупных солончаков); 7 — смешанный (на участках плато за пределами песчаного массива)

дование вод на десукцию вследствие обнаженности барханных песков исключается. Мощность зоны аэрации в межбарханных понижениях более 3 м.

Десуктивный тип водообмена индицируется эктоярусами урощ грядовых песков. С фреатофитами по понижениям дешифрируются они не менее уверенно по наличию линейно вытянутых гряд, ориентированных с северо-востока на юго-запад. В соответствии с этим структура фотоизображения этих участков сложная, сочетающая в себе элементы полосчатости и зернистости. Зернистость связана с характером закрепленности песков. Фототон варьирует от светло-серого до темно-серого в основном под влиянием экспозиции склонов гряд, что создает их различную освещенность. Мощность зоны аэрации на данных участках составляет от 4 до 10 м и более.

Смешанный тип питания с преобладанием десуктивного характерен для участков обширных присолончаковых равнин с широким развитием пухлых солончаков, окружающих песчаные массивы со всех сторон. Индицируются такие области эктоярусами мелкобугристых пухлых солончаков с господством сарсазанников. Дешифрируются они по мелкопятнистой структуре с расплывчатыми границами пятен. Пятнистость обусловлена чередованием бугров, заросших сарсазанниками (более темные пятна) и мелкобугристых понижений с гипсоносной коркой (светлые пятна). Для днищ крупных солончаков, покрытых солевой коркой и лишенных растительности (что создает на КФС резко очерченные белые пятна с гомогенной структурой), характерен испарительный тип водообмена с мощностью зоны аэрации до 3 м.

Данные наземных исследований свидетельствуют о том, что различным типам питания грунтовых вод через зону аэрации соответствуют воды определенной минерализации.

На участках с инфильтрационным типом питания формируются только пресные воды, с десуктивным — слабоминерализованные, с испарительным — соленые.

Полученные результаты демонстрируют перспективность использования материалов космофотосъемки для изучения зоны аэрации песчаных пустынь. С их помощью предоставляется возможным осуществить картирование на больших площадях с меньшими временными и материальными затратами.

Инженерно-геологические условия

При составлении карты-схемы инженерно-геологических условий и районирования использованы материалы дешифрирования КФС, обширные фактические материалы и данные наземных исследований. Последние включают в себя материалы ландшафтно-индикационных исследований, результаты изучения геолого-генетических комплексов плиоцен-четвертичных от-

ложений, их состава и свойств, подземных вод и их химизма.

Изучение физических свойств грунтов наряду с традиционными методами проводилось современными экспресс-методами определения влажности и плотности пород с помощью приборов УР-70 и ПГП-2. В связи с тем, что основной целью наземного опробования свойств грунтов было обеспечение наземного обоснования результатов дешифрирования, то определялись лишь те свойства, которые косвенно влияют на характер фотоизображения. Это естественная влажность, объемная масса, пластичность, содержание солей в грунтах, а также гранулометрический состав. Фактический материал о составе и свойствах грунтов представлен в виде комплексного разреза (см. рис. 27).

В работе использовались общепринятые принципы и методика составления инженерно-геологических карт [143], а также опыт выполнения подобной задачи для Центрального Устюрта [131].

Применяемая методика, основанная на сочетании методов дешифрирования КФС, наземных работ на ключевых участках и опорных профилях позволила получить данные об инженерно-геологических условиях всей территории исследований путем экстраполяции данных с ключевых участков на ландшафты-аналоги. В связи с этим наиболее целесообразен регионально-типологический подход к инженерно-геологическому районированию.

По геоструктурным признакам выделены два инженерно-геологических региона: I — синеклиза плато Устюрт; II — Урало-Бузачинская зона поднятий. Граница между ними хорошо дешифрируется на космофотоснимках и совпадает с линией чинков (обрывов) плато.

В пределах первого региона по геоморфологическим признакам выделены две области: I-A — область отрицательных морфоструктур с развитием эоловой и соровой аккумуляции (соответствует песчаным массивам Сам и Матайкум, окаймленным одноименными солончаками); I-B — область положительных морфоструктур с развитием эрозивно-денудационных процессов (соответствует Мынсуалмасскому и Актумсыкскому поднятиям).

Площадь региона II в пределах территории исследований рассматривается как одна область (II-A) обращенных положительных морфоструктур с развитием денудационно-аккумулятивных процессов.

Каждому геолого-генетическому комплексу плиоцен-четвертичных отложений в пределах областей соответствует инженерно-геологический район, границы которого на карте совпадают с границами распространения геолого-генетического комплекса. Рассмотрим последовательно инженерно-геологические условия выделенных таксономических единиц (рис. 26).

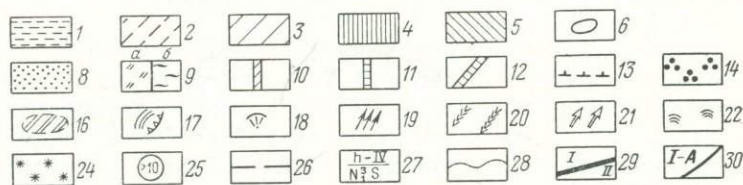
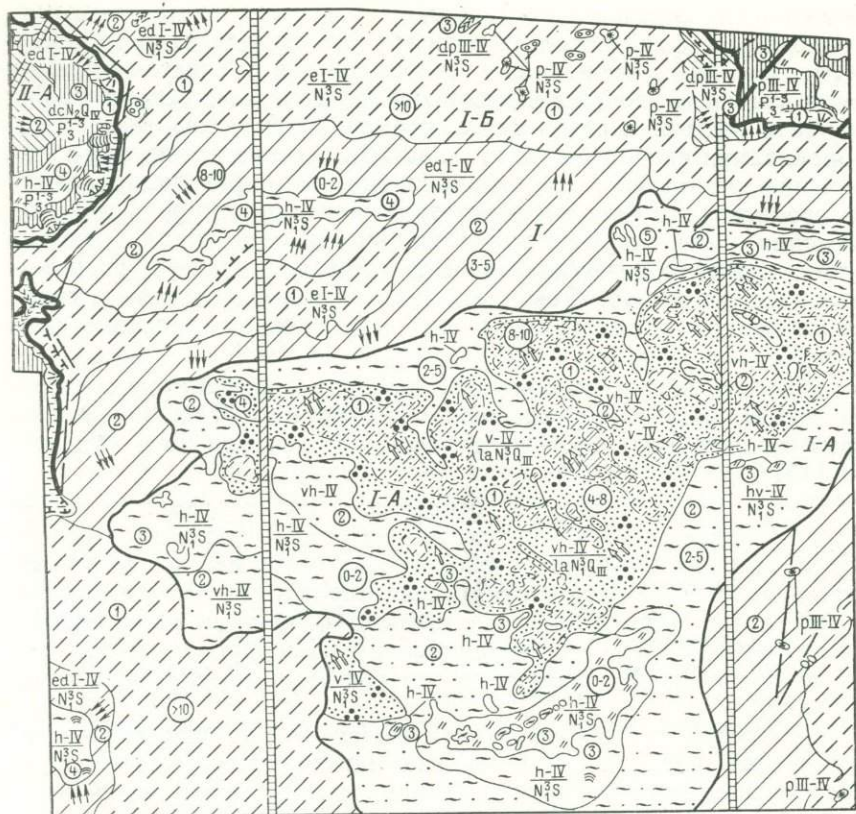


Рис. 26. Фрагмент карты-схемы инженерно-геологических условий и районирования Северо-Западного Устьурта (составлена по материалам дешифрирования космофотоснимков)

Генетические типы и возраст отложений: 1 — делювиально-коллювиальные плиоцен-четвертичные (dc $N_2^3-Q_{IV}$). Блоки известняков, мергелей (N_1^3s) на глинах палеогена (P_3^1-2) с суглинистым и супесчаным заполнителем, мощность до 30 м; 2 — элювиальные четвертичные (eI-IV). Суглинки тяжелые и легкие глины (мучнистый известняк) с включениями щебня и дресвы известняка. Мощность до 1 м; 3 — элювиально-делювиальные четвертичные (ed I-IV). Суглинки тяжелые, средние и глины, мучнистый известняк с включениями щебня, дресвы и мергеля, мощность до 5 м; 4 — пролювиальные верхнечетвертичные и современные (p III-IV). Супеси, суглинки, пески с глинистыми прослоями, мощность от 5 до 10 м; 5 — делювиально-пролювиальные верхнечетвертичные и современные (dp III-IV). Супеси, суглинки, пески, мощность 2-4 м; 6 — пролювиальные современные (p IV). Суглинки тяжелые с включениями дресвы и щебня, известняка и мергеля, мощность до 2 м; 7 — хемогенно-золотые современные (hv IV). Суглинки тяжелые и пылеватые пески с включениями дресвы известняка и мергеля в основании, мощность до 10 м; 8 — золотые современные (v IV). Пески пы-

леватые и мелкозернистые, мощность до 10—12 м; 9 — хемогенные современные (h IV): а — соровых, б — пухлых солончаков. Супеси, глинистые пылеватые пески и тяжелые суглинки, мощность (на периферии) до 3 м.

Подстилающие комплексы: 10 — озерно-аллювиальные плиоцен-четвертичные (la N₂—Q_{III}). Пески мелкозернистые, глинистые, мощность 15—17 м; 11 — морские миоценовые сарматские (N₁³s). Мергели серые, голубоватые, плитчатые с прослоями карбонатных глин, известняки серые, оолитовые, детритусовые мелкокристаллические, мощность 40—60 м; 12 — морские олигоценовые (P₃¹⁻³). Глины зеленовато-серые, карбонатные, слоистые, тонкодисперсные, мощность 5—50 м.

Геоморфологические элементы: 13 — уступы пологие; 14 — бугристо-ячеистые пески (высота бугров 3—4 м); 15 — грядовые пески (высота гряд 4—6 м); 16 — барханные пески (высота барханов до 10—11 м).

Современные экзогенные процессы: 17 — движущиеся оползни; 18 — полигенетические гравитационные склоновые процессы (осыпи, обвалы, оползни); 19 — линейная эрозия; 20 — интенсивное оврагообразование; 21 — развевание; 22 — засоление; 23 — карстово-суффозионные процессы; 24 — такырообразование. Подземные воды: 25 — глубина залегания подземных вод, м. Прочие обозначения: 26 — зоны повышенной трещиноватости вдоль предполагаемых разломов; 27 — геологические индексы комплексов отложений; числитель — верхнего, знаменатель — подстилающего; 28 — границы геолого-генетических комплексов отложений; 29 — границы регионов и его номер; 30 — границы области и ее индекс.

Инженерно-геологическое районирование. **Регионы:** I — синеклиза плато Устюрт; II — Урало-Бузачинская зона поднятий. **Области:** I-A — отрицательных морфоструктур с развитием эоловой и соровой аккумуляции; I-B — положительных морфоструктур с развитием эрозионно-денудационных процессов; II-A — обращенных положительных морфоструктур с развитием денудационно-аккумулятивных процессов. **Районы** (цифры в кружках): в области I-A — 1 — эоловых современных (v IV) песчаных и озерно-аллювиальных плиоцен-верхнечетвертичных (la N₂³—Q_{III}) песчано-глинистых отложений, 2 — хемогенно-эоловых современных (hv IV) песчано-суглинистых отложений, 3 — хемогенных современных (h IV) суглинистых и песчано-глинистых отложений, 4 — пролювиальных верхнечетвертичных и современных (p III—IV) супесчано-суглинистых отложений; в области I-B — 1 — элювиальных четвертичных (eI—IV) щебнисто-суглинистых отложений, 2 — элювиально-делювиальных четвертичных (ed I—IV) супесчано-суглинистых с примесью щебня отложений, 3 — делювиально-пролювиальных верхнечетвертичных и современных (dp III—IV) супесчано-суглинистых с примесью щебня отложений, 4 — хемогенных современных (h IV) песчано-суглинистых отложений; в области II-A — 1 — делювиально-коллювиальных плиоцен-четвертичных (dc N₂³—Q_{IV}) глыбово-щебнистых с супесчано-суглинистым заполнителем отложений; 2 — делювиально-пролювиальных верхнечетвертичных и современных (dp III—IV) песчано-глинистых отложений, 3 — пролювиальных верхнечетвертичных и современных (p III—IV) супесчано-суглинистых отложений, 4 — хемогенных современных (h IV) песчано-суглинистых отложений, 5 — морских хвалынских (m III—hv) песчано-глинистых отложений

Регион I. Область I-A. Поверхность области имеет абсолютные отметки 40—110 м. Характерны два типа рельефа: плоские и мелкобугристые равнины с широким развитием солончаков и окаймляющие песчаные массивы, и сами песчаные массивы с характерным для них эоловым рельефом. Породы коренной основы залегают на глубине от 2—10 м по периферии области до 25—30 м в центральной ее части под песчаными массивами и представлены серыми известняками, мергелями и карбонатными глинами сармата (N₁³s), которые на некоторых участках перекрыты известняками-ракушечниками и оолитовыми понтического (N₂¹rp) возраста. Глубина залегания грунтовых вод изменяется от 0,5—1 м в солончаках до 20—22 м в центральных частях песчаных массивов. Встречаются как пресные, так и соленые воды, а в солончаках рассолы. По контурам крупных солончаков (сор Сам) прослеживаются линеаменты, связанные с дизъюнктивной тектоникой.

Район (1) распространения эоловых современных (v IV) песчаных и озерно-элювиальных плиоцен-верхнечетвертичных

($laN_2^3-Q_{III}$) *песчано-глинистых отложений*. Отложения этого комплекса залегают на сильно измененной процессами денудации в нижнеплиоценовое время поверхности пород сармата (N_1^3s). Эоловые отложения сформировались в основном в результате перевевания верхней части озерно-аллювиальных отложений и в отличие от последних представлены более сортированными и лучше окатанными серыми и серовато-желтыми кварц-полевошпатовыми песками.

Мелкозернистые пески к периферии песчаных массивов частично сменяются пылеватыми песками, которые заполняют все межбугровые понижения и отличаются большей плотностью. Объемная масса изменяется от $1,4 \text{ г/см}^3$ для слабозакрепленных и незакрепленных песков и увеличивается до $1,7 \text{ г/см}^3$ на участках, закрепленных бугристо-ячеистых песков. Влажность меняется от 2 до 10% и увеличивается с глубиной. Характерно изменение содержания солей в песках при движении от центра песчаных массивов, где сумма минерализации $0,04-0,6\%$, к периферии — содержание солей здесь возрастает до $0,125\%$. Мощность эоловых отложений 10—12 м, озерно-аллювиальных 16—18 м [71, 72].

Для рассматриваемого района характерно развитие процессов развевания по всей площади, в результате чего получили широкое распространение эоловые формы рельефа: бугристо-ячеистые пески (высота бугров 3—4 м), грядовые пески (высота гряд 4—6 м) и барханные пески (высота барханов 10—12 м). Большая часть этих форм рельефа закреплена растительностью и процесс развевания приводит к образованию небольших ячеек (диаметр до 10—15 м), реже крупных котловин (диаметр до 30—40 м).

В песчаных массивах грунтовые воды залегают на глубинах 10—20 м на участках перевеваемых песков и 4—8 м на других участках. По химическому составу воды слабосоленоватые и солоноватые с линзами пресных вод, приуроченных к участкам распространения барханных и грядовых песков. В глубоких межбугровых понижениях и крупных котловинах выдувания воды часто залегают близко к поверхности, на глубине 1—2 м. В том случае, если воды солоноватые, развиваются процессы засоления грунтов. На космофотоснимках эти участки представлены пятнами темно-серого фототона, что обусловлено густым растительным покровом.

Район (2) распространения хомогенно-эоловых современных ($hVIV$) песчано-суглинистых отложений охватывает песчаные массивы со всех сторон и отдельными участками встречается среди песков. Комплекс представлен желтовато-коричневыми тяжелыми плотными суглинками и желтовато-серыми пылеватыми кварц-полевошпатовыми песками.

В среднем для всего комплекса значения объемной массы изменяются от $1,6$ до $1,9 \text{ г/см}^3$, влажности от 7 до 14%, а в

микросоровых понижениях до 20—23%. Сумма минерализации составляет 2,4—3,3%. Мощность отложений 2—10 м.

Грунтовые воды залегают на глубине 2—5 м. Большею частью они солоноватые и соленые, в микросоровых понижениях — рассолы. Неглубокое залегание грунтовых вод и сухой жаркий климат приводит к интенсивному развитию засоления грунтов. Повсеместно встречаются микросоровые понижения, по внешнему облику, содержанию солей в грунтах (3—4%) аналогичные крупным солончакам.

Район (3) распространения хемогенных современных (hIV) суглинистых и песчано-суглинистых отложений приурочен к солончаковым понижениям Сам, Асмантай-Матай, Жарын-Кудук, Самолдын и др. Отложения представлены коричневыми супесями, серыми глинистыми песками и серовато-коричневыми тяжелыми суглинками с включениями кристаллов гипса. Для них характерны высокие значения влажности — 20—25% и объемной массы — 1,9—2,1 г/см³. Сумма минерализации — 3,5—5,6%. Мощность комплекса по периферии солончаков составляет 3—5 м. Грунтовые воды залегают на глубинах до 2 м. По химическому составу преобладают рассолы. В районе интенсивно протекает процесс засоления. Центральные части солончаков покрыты солевой коркой, мощность которой 0,5—1.

Район (4) распространения пролювиальных верхнечетвертичных и современных (pIII—IV) супесчано-суглинистых отложений. ими сложен конус выноса, расположенный на юго-востоке от песчаного массива Сам. Комплекс представлен супесями и суглинками мощностью до 5 м. Грунтовые воды залегают на глубине не более 1—4 м. В районе развивается засоление грунтов, о чем свидетельствуют распространенные здесь микросоровые понижения.

Область I-Б. Поверхность области имеет абсолютные отметки 80—140 м. Для нее характерны: плоские водораздельные поверхности, эрозионно-денудационные склоны впадин и плоские поверхности солончаков.

Породы коренной основы залегают на глубине 0,5—5 м и представлены серыми известняками, мергелями и карбонатными глинами сарматского (N₁³s) возраста. Глубина залегания грунтовых вод варьирует от 10—30 м на водоразделах до 2 м в солончаках. По степени минерализации они пресные и слабосоленые, в солончаках — соленые. По цепочкам такыров, резким перегибам русел временных водотоков и контурам чинков прослеживаются линеаменты, связанные с дизъюнктивной тектоникой.

Район (1) распространения элювиальных четвертичных (eI—IV) щебнисто-суглинистых отложений. Они покрывают сплошным чехлом водораздельные пространства плато и представлены серовато-коричневыми тяжелыми известковистыми суглинками, глыбово-щебнистым горизонтом, состоящим из об-

ломков известняка, мергеля и пористого гипса с заполнителем в виде мучнистого известняка. Для комплекса в целом характерны значения влажности 4—10%, объемной массы 1,4—1,9 г/см³. Сумма минерализации 0,07—0,58%. Мощность элювиальных отложений 0,5—1 м. Первый от поверхности водоносный горизонт залегает в известняках сармата (N₁³s) на глубине более 10 м. По степени минерализации воды пресные и слабосоленые. В районе развиты карстово-суффозионные процессы, послужившие причиной образования котловин типа «урпа», а также процессы такырообразования. В больших и малых западинах на поверхности плато происходит накопление пролювиального материала. Он представлен серовато-коричневыми тяжелыми плотными суглинками. Объемная масса 1,7—1,9 г/см³; влажность 4—9%. Сумма минерализации больше, чем у окружающих элювиальных суглинков, и составляет 1,3—2,0%.

Район (2) распространения элювиально-делювиальных четвертичных (edI—IV) отложений. Комплекс представлен коричневыми тяжелыми плотными известковистыми и желтовато-серыми средними суглинками и обломочным горизонтом, состоящим из дресвы и щебня известняка и мергеля с заполнителем в виде мучнистого известняка. Отложения этого комплекса приурочены к склонам водоразделов. Физические свойства близки к свойствам элювиальных отложений и в среднем составляют: объемная масса — 1,4—1,9 г/см³, влажность 4—10%, сумма минерализации вниз по склону увеличивается от 0,08 до 1,6%. Мощность отложений 1,5—5 м.

Первый от поверхности водоносный горизонт залегает в известняках сармата на глубине 8—10 м в средней части склонов и 3—5 м у их подножия.

Для района характерно развитие интенсивной линейной эрозии на склонах.

Район (3) распространения делювиально-пролювиальных верхнечетвертичных и современных (dpIII—IV) отложений на склонах средней крутизны. Они представлены суглинками, супесями и песками мощностью 2—4 м. Для района характерны процессы оврагообразования, сформировавшие густую гидросеть временных водотоков. Подземные воды залегают на глубине 8—10 м в известняках сармата. По степени минерализации воды пресные и солоноватые. О физических свойствах отложений этого комплекса данных нет, так как район находится за пределами территории исследований.

Район (4) распространения хемогенных современных (hIV) отложений, приуроченных к крупным солончаковым впадинам на поверхности плато. Так же, как и в районе 3 области I-A, эти отложения представлены супесями, глинистыми песками и тяжелыми серовато-коричневыми суглинками. Для солончаков на плато характерно залегание мощного (до 2 м) слоя серовато-коричневых суглинков с кристаллами гипса в верхней

части разреза. Грунтовые воды залегают на глубине до 2 м. По степени минерализации они соленые. В районе интенсивно протекает процесс засоления.

Регион II. В пределах региона выделена одна область (II-A) — обращенных положительных морфоструктур с развитием денудационно-аккумулятивных процессов. Абсолютные отметки поверхности области (минус 10—минус 60 м). В области распространены четыре типа рельефа: обвально-оползневой рельеф чинковой зоны, плоские равнины пролювиальных шлейфов и солончаков, овражный рельеф на склоне морской равнины и мелкобугристая морская равнина. Породы коренной основы залегают на глубине 2—30 м и представлены глинами олигоценового возраста (P_3^{1-3}). Глубина залегания грунтовых вод до 10 м. По степени минерализации они солоноватые, соленые, а в солончаках рассолы. Вдоль чинков происходит разгрузка подземных вод сарматского и тортонского водоносного горизонтов в виде родников. Наземные исследования в пределах рассматриваемого региона не проводились. Поэтому при рассмотрении районов не приведены характеристики свойств отложений.

Район (1) распространения делювиально-коллювиальных плиоцен-четвертичных ($dcN_2^3 - O_{IV}$) отложений, представленный блоками известняков и мергелей сармата и тортона с суглинистым и супесчаным заполнителем. Смещение блоков происходило и происходит в настоящее время по олигоценовым глинам (P^{1-3}). Мощность отложений достигает 30 м. Вдоль чинков отмечается много родников, в которых разгружаются подземные воды сарматского и тортонского водоносных горизонтов. По степени минерализации — они пресные и солоноватые. На склонах интенсивно развиваются гравитационные процессы: оползни, обвалы, осыпи, оврагообразование.

На космофотоснимках хорошо дешифрируются крупные, сравнительно молодые оползневые тела. Фиксируются стенки обрыва и веерообразное расположение гряд оползневого тела. Такая своеобразная структура оползневых тел позволяет высказать предположение о механизме их образования. В период увлажнения склоновых отложений происходит, по-видимому, скалывание и соскальзывание блоков по наклонной плоскости глин с растеканием в стороны.

Район (2) распространения делювиальных верхнечетвертичных и современных (dr_{III-IV}) отложений, приуроченных к склонам средней крутизны. Отложения представлены супесями, суглинками и песками. Они залегают маломощным (2—4 м) плащом на глинах олигодена. Отложения практически безводные. Для района характерно развитие процессов оврагообразования.

Район (3) распространения пролювиальных верхнечетвертичных и современных (r_{III-IV}) отложений. Они выполняют

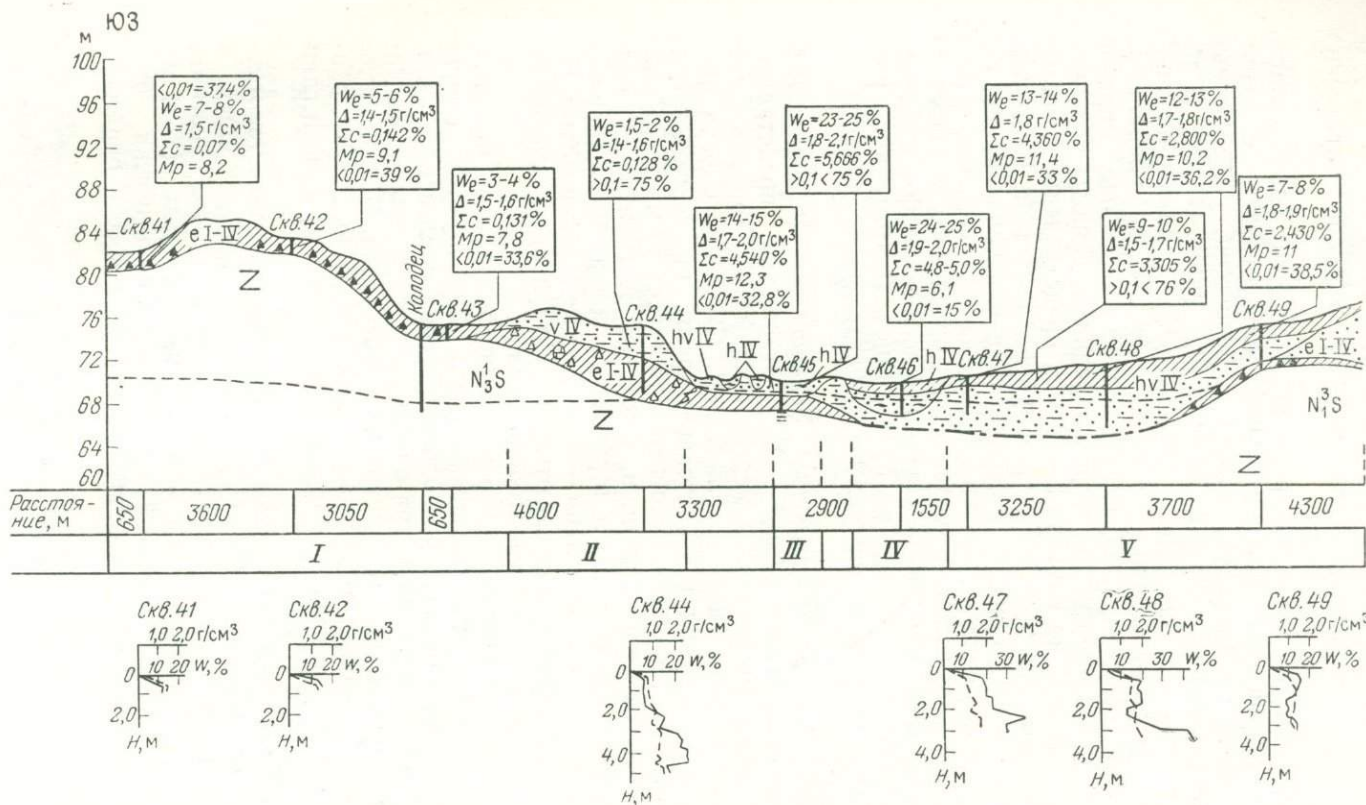


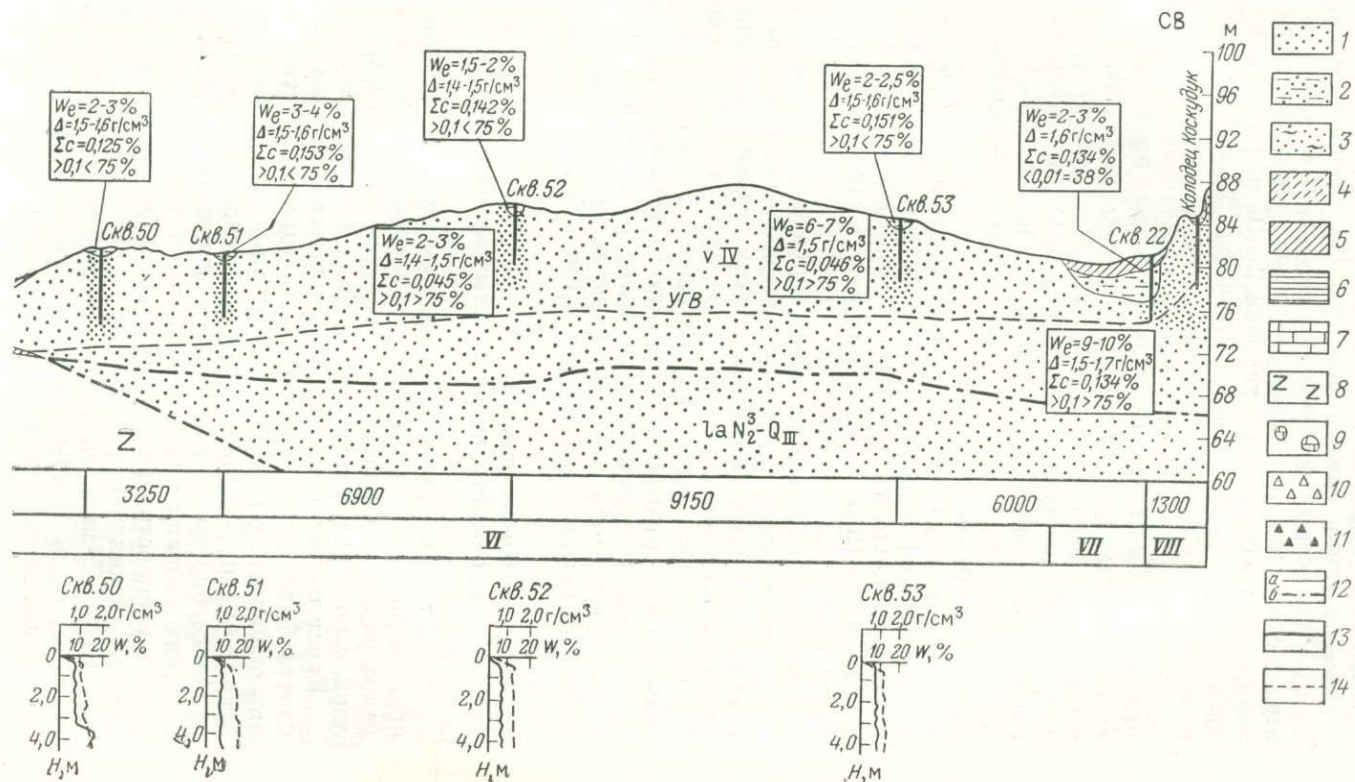
Рис. 27. Комплексный разрез к карте-схеме инженерно-геологических условий и районирования.

Геологические индексы: eI-IV — элювиальные четвертичные отложения; hv IV — хемогенно-золотые современные отложения; hIV — хемогенные современные отложения; v IV — золотые современные отложения; la N₂-Q_{III} — озерно-аллювиальные плейстоцен-четвертичные отложения; N₃S — морские сарматские отложения.

Литология: 1 — пески мелко- и среднезернистые; 2 — пески пылеватые; 3 — пески глинистые; 4 — супеси пылеватые; 5 — суглинки тяжелые; 6 — глины; 7 — известняки; 8 — известняки, мергели, глины; 9 — крупные обломки известняка; 10 — щебень известняка и мергеля; 11 — древесная известняка и мергеля; 12 — литологические границы; а — по данным авторов; б — по литературным данным; 13 — эпюра влажности; 14 — эпюра пластичности.

Физические, физико-химические свойства и состав грунтов: W_e — естественная влажность, %; Δ г/см³ — объемная масса; Σc — сумма минерализации, %; M_p — число пластичности; β — поверхностная плотность, г/см³; $<0,01=37,4\%$ — содержание частиц размером менее 0,01

Краткое ландшафтное описание: I — пологонаклонная супесчано-суглинистая поверхность плато с распространением кустарниково-полюнно-биургуновского комплекса; II — мелкобугорчатая поверхность с распространением злаково-белополюнного сообщества с участием терескена и дьяка; III — солончак, лишенный растительности; IV — солончак, лишенный растительности; V — мелкобугристая песчано-суглинистая равнина с распространением комплекса злаково-полюнного сообщества с участием прутьянка и соров, лишенных растительности; VI — мелко- и среднебугристые и ячеистые пески с распространением злаково-пыльно-илякового сообщества с участием в комплексе с псаммофитно-полюнно-зеноуменным сообществом; VII — мелкобугристая суглинистая равнина с распространением злаково-полюнно-биургуновского кустарникового комплекса; VIII — бугристо-ячеистые формы поверхности с господством песчано-осоково-белополюнного житнякового сообщества



причинковые прогибы и представлены супесями, суглинками и песками с глинистыми прослоями. Их мощность не превышает 10 м. Темно-серый фототон на космофотоснимках свидетельствует о том, что отложения этого комплекса обводнены, и грунтовые воды залегают на глубине 2—10 м. По степени минерализации они солоноватые и соленые. В районе повсеместно развивается засоление грунтов.

Район (4) распространения современных хемогенных (hIV) отложений. Они выполняют солончаковые понижения в причинковой зоне (соры Ащиктайпак и Карын-Ярык), которые приурочены к сводовым частям обращенных положительных морфоструктур. Отложения представлены супесями, суглинками и глинистыми песками. Сверху покрыты коркой соли. Грунтовые воды залегают на глубине до 2 м. Интенсивно протекает процесс засоления грунтов.

Для района (5) характерен плоский рельеф морской равнины, сложенной переслаивающимися тонкозернистыми песками и глинами хвалынского возраста (mIII—hIV). Их мощность составляет 14—16 м. В основании лежат глины палеогена (P_3^{1-3}). Грунтовые воды залегают на глубине 2—12 м. На поверхности распространен процесс засоления грунтов.

Таким образом, для территории исследований характерна изменчивость инженерно-геологических условий, которая прослеживается на комплексном разрезе, приложенном к карте-схеме. На нем отражен характер соотношения комплексов плиоцен-четвертичных отложений и их литологический состав. Для каждого из них даны осредненные значения объемной массы, влажности, содержания солей, глубины залегания первого от поверхности водоносного горизонта (рис. 27).

Новые данные о некоторых экзогенных процессах

В настоящем разделе рассматриваются некоторые особенности экзогенных процессов, интенсивно развивающихся в пределах различных участков плато Устюрт, которые выявлены лишь с помощью материалов аэро- и космофотосъемки.

Карст и связанные с ним процессы. Работы по изучению карста были сосредоточены на Центральном Устюрте, в пределах обширных территорий между увалом Карабаур и впадиной Ассаке-Аудан. Задачами дешифрирования космофотоснимков являлось определение геоморфологических и структурно-геологических условий развития карста, а также изучение особенностей распространения карстовых форм по территории Шахпахты-Караколкинского карстового района [162]. Согласно данным Ю. Я. Кузнецова, карстовые формы на Устюрте приурочены в основном к крыльям тектонических структур, районам антиклинальных поднятий и зонам крупных флексур [78, 79].

Сопоставление данных структурно-тектонического и геоморфологического дешифрирования (рис. 28, 29), проведенного нами, показало, что участки интенсивного развития карста в урочище Караколка отмечаются в тектонически ослабленной зоне дробления сарматских известняков, связанной с серией дизъюнктивных нарушений на границе Байского прогиба и Хоскудук-Шахпахтинской системы антиклинальных поднятий.

По имеющимся данным, долина Караколка обязана своим происхождением экзогенным процессам [43]. Причем в ее формировании приняла участие главным образом эрозия с последующей карстовой моделировкой. Данных, указывающих на генетическую связь долины с тектоническими процессами, до настоящего времени не существовало. Высказанные нами предположения об участии разрывной тектоники в заложении и формировании долины Караколка, а следовательно, и в развитии карста на этом участке подтверждены данными электро- и сейсморазведочного профилирования (рис. 30, 31). Таким образом, результаты дешифрирования космofотоснимков позволили получить новые материалы о влиянии геологической структуры на развитие карста.

В литературе по карсту Устюрта описаны разнообразные формы рельефа карстового происхождения. Среди них наибольшее распространение получили карстовые блюдца, воронки, котловины, колодцеобразные провалы (аны), а также обширные депрессии типа «урпа» и пещеры (рис. 32).

В процессе наших исследований были отдешифрированы на КФС, затем описаны и закартированы своеобразные карстовые провалы на склонах останцовых возвышенностей, сложенные сильно трещиноватыми известняками и мергелями сармата. Подобный тип карстовых форм ранее был встречен нами в Южном Приангарье [112]. Такие провалы возникают на склонах высотой 10—15 м, крутизной 12—25° и захватывают, как правило, верхнюю и центральную части склона. В рельефе они создают резко асимметричные формы, которые имеют широкое распространение в урочище Караколка. Наибольшая их концентрация отмечается на склонах останцовых возвышенностей на участке, примыкающем к колодцу Тасюк. Следует отметить, что из 42 отдешифрированных нами провальных карстовых форм на этом участке 27 принадлежит к рассматриваемому типу.

Наземные геоморфологические обследования асимметричных карстовых провалов позволили выявить особенности их происхождения и эволюции. Рассмотрим основные стадии их формирования (рис. 33).

1. Денудационный уступ останцовой возвышенности, сложенный сильно трещиноватыми известняками и мергелями, не нарушенный карстовым провалом. В данном случае обрушение пород не произошло и склон развивается под действием процессов делювиального смыва. Средняя крутизна склона 17°, вы-

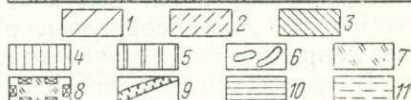
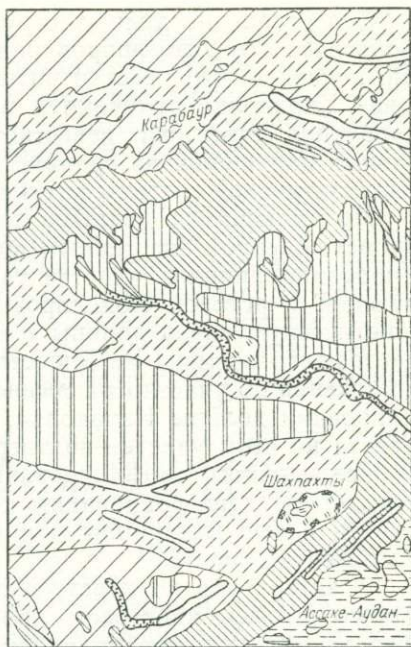
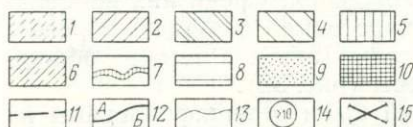
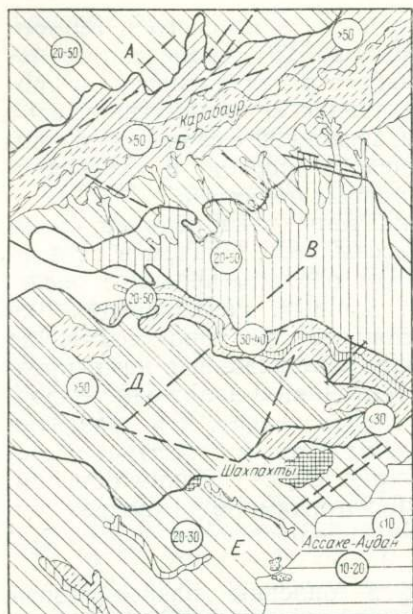


Рис. 28. Карта-схема структурно-геологических и гидрогеологических условий развития экзогенных процессов Центрального Устырта (составлена по материалам дешифрирования космофотоснимков).

Структурно-тектонические условия: А — Яркимбайская структурная ступень; Б — Карабаурская система антиклинальных поднятий; В — Байский прогиб; Г — тектонически ослабленные зоны дробления пород; Д — Хоскудук-Шахпахтинская система антиклинальных поднятий; Е — Ассак-Ауданский прогиб

Четвертичные отложения и их мощность: 1 — элювиальные глыбово-щебнистые отложения водораздельного плато мощностью 0,3—1,0 м; 2 — элювиально-делювиальные щебнисто-суглинистые отложения привдораздельных частей склонов мощностью 1,0—1,5 м; 3 — элювиально-пролювиальные щебнисто-суглинистые отложения слабонаклонных затакырренных пространств каменистого плато мощностью 1,5—2,0 м; 4 — делювиально-пролювиальные щебнисто-суглинистые отложения затакырренных участков склонов мощностью до 2 м; 5 — пролювиальные суглинистые отложения затакырренных шлейфов конусов выноса временных водотоков мощностью до 3 м; 6 — делювиальные супесчано-суглинистые отложения склонов долин пересохших рек мощностью до 5 м; 7 — аллювиально-пролювиальные песчано-глинистые отложения долин пересохших рек мощностью до 5 м; 8 — хемогенные отложения солончаков (соли, гипсы, илы, суглинки, пески) мощностью до 5 м; 9 — золотые отложения, приуроченные к песчаным массивам в солончаках; 10 — выходы на дневную поверхность глинисто-мергелистых пород палеогена и известняков верхнего мела.

Прочие обозначения: 11 — линейменты, связанные с дизъюнктивной тектоникой; 12 — границы между структурными элементами; 13 — границы между геолого-генетическими комплексами пород; 14 — глубина залегания первого водоносного горизонта, м; 15 — линии геофизических профилей

Рис. 29. Карта-схема современных экзогенных процессов и явлений Центрального Устырта (составлена по материалам дешифрирования космофотоснимков).

Участки распространения основных типов экзогенных процессов и явлений: 1 — слабый плоскостной смыв; 2 — линейная эрозия; 3 — поверхности течения грунта на пологих

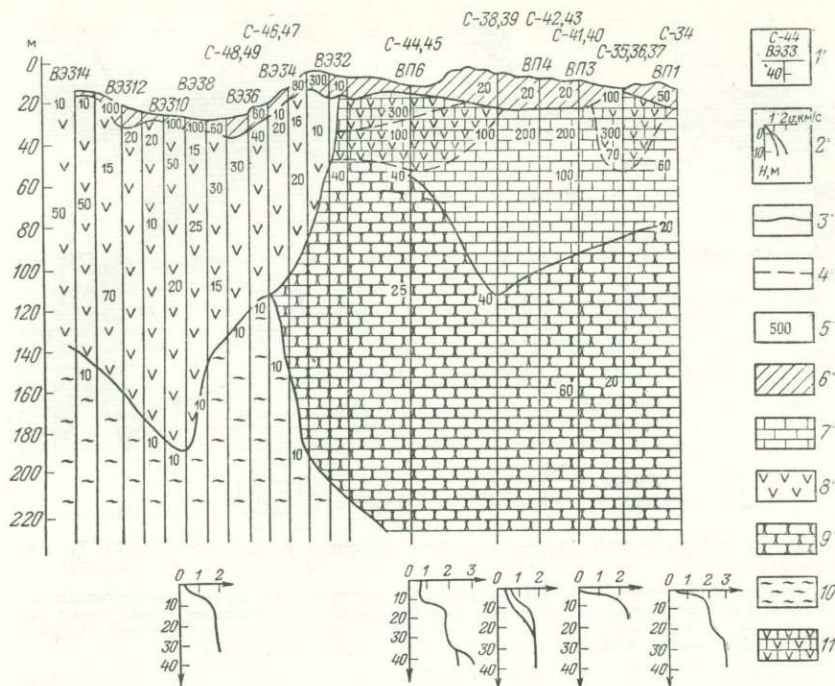


Рис. 30. Геолого-геофизический разрез в долине урочища Караколка. По Н. Н. Шарапанову.

1 — сейсмический профиль и точки ВЭЗ и ВЭЗ ВП, цифра слева — величина удельного электрического сопротивления, Ом·м; 2 — скоростной разрез (по горизонтали — v , км/с, по вертикали H , м) — результат по взаимно перпендикулярным профилям; 3 — геоэлектрические границы; 4 — геосейсмические границы; 5 — величина v_p , м/с; 6 — покровные отложения; 7 — известняки; 8 — зона нарушенных пород с глинистым заполнителем; 9 — песчаники; 10 — глины; 11 — трещиноватые известняки с глинистым заполнителем

сота 10—15 м. Продукты делювиального смыва откладываются на прилегающей горизонтальной поверхности, в результате чего происходит ее затакыривание. Этому способствует произрастание фреатофитов у подножий склонов. Растительность задерживает крупнообломочный материал, формируя у подножия склона делювиальный шлейф, а мелкозернистый суглинистый материал выносится и откладывается на горизонтальной поверхности, что способствует затакыриванию. Иначе говоря, мы наблюдаем поверхности такырной педиментации. Мощность та-

склонах (такыры транзита по Э. А. Агбальянцу); 4 — шлейфы — конусы выноса пролювия; 5 — крупные такыры; 6 — прямолинейно-ориентированные такырные системы; 7 — совместное проявление карста и эрозии, формирующее циркулярные формы на склонах; 8 — крупные карстовые впадины; 9 — поймы и днища пересохших рек; 10 — оловяные процессы; 11 — засоление почвогрунтов

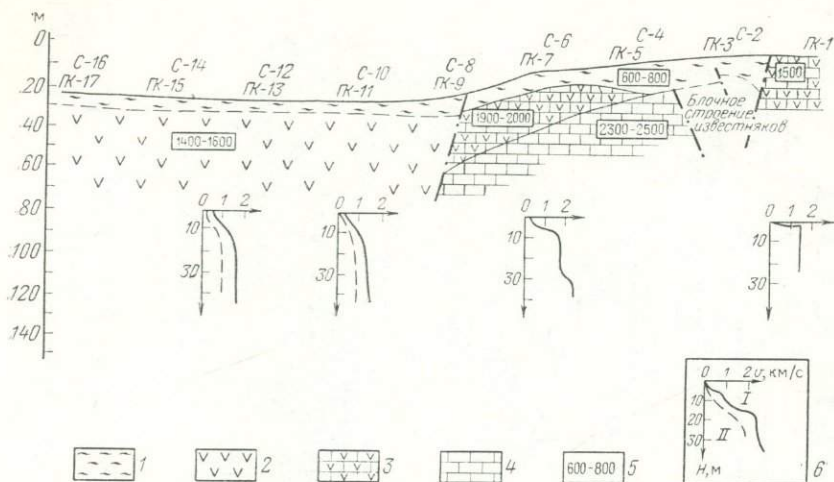


Рис. 31. Геосейсмический разрез в долине урочища Караколка. По Н. Н. Шарпанову.

1 — покровные отложения; 2 — зона нарушенных пород с глинистым заполнителем; 3 — трещиноватые известняки с глинистым заполнителем; 4 — монолитные известняки; 5 — скорости продольных волн, м/с; 6 — скоростной разрез: I — по продольным волнам, II — по поперечным волнам



Рис. 32. Карстовые провалы (аны) в урочище Караколка

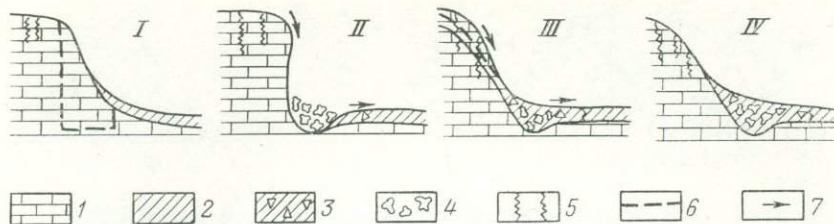


Рис. 33. Эволюционный цикл асимметричных карстовых провалов на склонах останцовых возвышенностей Центрального Устюрта

I — денудационный уступ останцовой возвышенности, сложенный сильнотрещиноватыми известняками и мергелями, не нарушенный карстовым провалом; *II* — стадия обрушения известняков и мергелей на уступе склона с образованием провала резко асимметричной формы; *III* — стадия денудационно-эрозионной переработки карстового рельефа на склонах; *IV* — стадия выложенного денудационного склона с полностью переработанным карстовым рельефом.

1 — известняки; 2 — такырные суглинки; 3 — отложения делювиальных шлейфов; 4 — глыбы и обломки обрушившихся пород; 5 — трещины в известняках; 6 — контуры намечающегося провала; 7 — направление поверхностного стока

кыровидных суглинков в данном случае составляет 0,7—0,8 м, плотность 1,2 г/см³.

Водораздельные поверхности останцовых возвышенностей в прирвовочных частях склонов разбиты системами мелких трещин и рвов. Нами отмечено развитие здесь ранее не описанного на Устюрте явления, идентичного по морфологическим особенностям рвам отседания на склонах долин восточно-сибирских рек. Это явление будет рассмотрено нами более подробно.

2. Стадия обрушения известняков и мергелей на уступе склона с образованием провалов резко асимметричной формы. Обрушение пород происходит по трещинам. Этому способствует близкое залегание грунтовых вод у подножия склонов, о чем свидетельствует повышенная здесь влажность почво-грунтов. Так, значения влажности у подножий склонов составляют 8,1%, в средней части склона 4,8%, в водораздельной части 3,8%, а на водораздельной поверхности 2,9%. Этим объясняется и произрастание у подножий склонов фреатофитов.

Образовавшиеся провалы по форме резко асимметричны. Верхние по склону борта провалов по высоте обычно равны высоте склона, а нижние либо вообще отсутствуют, либо имеют высоту, составляющую 1/4 часть от высоты верхнего борта. Обрушившиеся массы полностью покрывают днища провалов (рис. 34).

3. Стадия денудационно-эрозионной переработки карстового рельефа на склонах. После образования провалов происходит моделировка склона денудационными и эрозионными агентами. С водораздельных поверхностей останцовых возвышенностей происходит вынос и аккумуляция в днищах провалов продуктов выветривания, в результате чего склоны отступают «параллельно себе» и осуществляется перенос материала на такыровидные поверхности. За счет этого увеличивается мощность та-

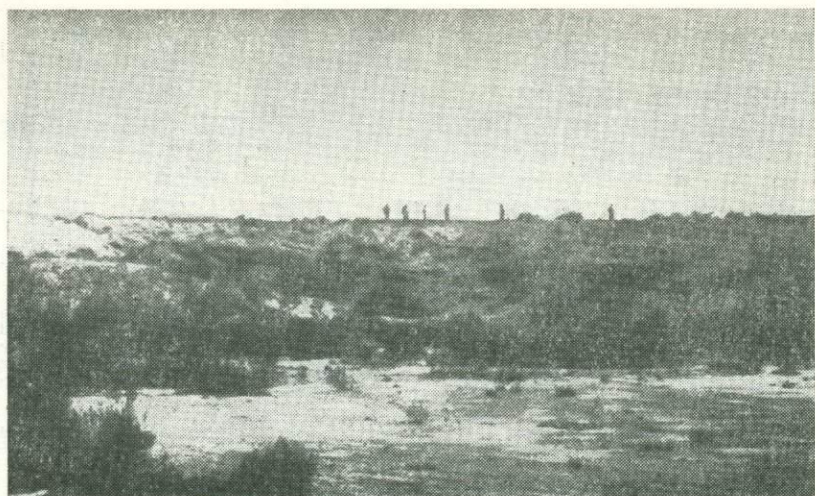


Рис. 34. Асимметричные карстовые провалы на склонах останцовых возвышенностей (участок колодца Тасюк)

кырных суглинков (до 1 м) и соответственно их плотность, значения которой составляют $1,3-1,4 \text{ г/см}^3$. Помимо этого по бортам провалов начинают развиваться эрозионные процессы, способствующие общей тенденции выколаживания склонов.

4. Стадия выположенного денудационного склона с полностью переработанным карстовым рельефом. Длительно развивающиеся процессы денудации способствуют полному исчезновению следов карстового рельефа, выколаживанию склонов и увеличению мощности такырных суглинков и их плотности. На данной стадии мощность суглинков более 1 м, значения плотности составляют $1,4-1,5 \text{ г/см}^3$. Такова схема эволюционного цикла склонового карста Устюрта.

В некоторых случаях происходит слияние отдельных близко расположенных друг от друга асимметричных провалов, находящихся на второй и третьей стадиях за счет развития эрозионных процессов с образованием эрозионно-карстовых цирков, достигающих значительных размеров. В этих цирках эрозионные процессы протекают с большой интенсивностью, так как избирают для своего развития тектонически ослабленные зоны разломов. За счет интенсивности эрозии у подножий цирков формируются обширные зоны такыров намыва, окаймляющие останцовые возвышенности. Достоверность выделенных линеаментов подтверждается наземными исследованиями, проведенными на этом участке. Так, индикаторами линеамента являются особенности растительного покрова и микрорельефа поверхности. Вдоль предполагаемого дизъюнктивного нарушения

расположены линейно ориентированные кустарники тамарикса развесистого и цепочки мелких западин суффозионно-просадочного генезиса (рис. 35). Произведенные замеры влажности и плотности пород верхней части разреза показали, что в пределах линеамента значения плотности и влажности почво-грунтов значительно ниже, чем на прилегающих участках. Так, в пределах линеамента значения плотности составляют $1,32 \text{ г/см}^3$, а влажности $5,4\%$, а на прилегающих участках соответственно $1,23 \text{ г/см}^3$ и $4,3\%$.

Большую роль в формировании асимметричных карстовых провалов играют процессы отседания склонов. Это явление хорошо изучено в районах Восточной Сибири [31, 160]), но на Устюрте никем из его исследователей описано не было.

При дешифрировании АФС нами были отмечены трещины с различной степенью раскрытия, ориентированные строго параллельно бровкам склонов. Во многих случаях эти трещины развиты вблизи бровок, описанных выше эрозионно-карстовых цирков. Наземные морфометрические исследования показали, что дешифрирующиеся трещины согласно представлениям Г. В. Чарушина [160] являются рвами отседания различных стадий. По этим рвам происходит отседание отколовшихся блоков под действием сил гравитации. Процессы отседания создают ступенчато-блоковый рельеф на склонах и способствуют не только развитию карста, но и общему разрушению склонов ос-

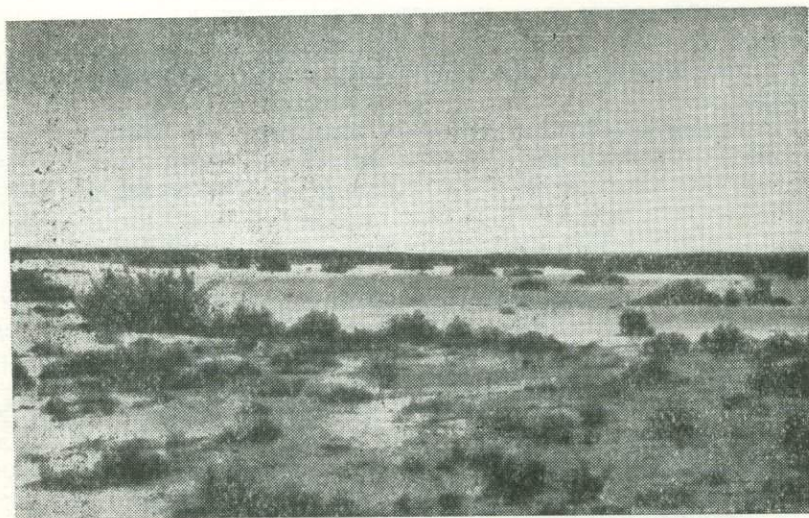


Рис. 35. Такыр Тасюк. Линейно вытянутая цепь тамарикса развесистого в центре такыра индицирует дизъюнктивное нарушение

танцовых возвышенностей. В отдельных случаях по рвам отседания, находящимся на первых стадиях развития (зарождающиеся рвы, V-образные рвы), образуются провалы типа поноров, что способствует расширению рвов и гравитационному смещению блоков отседания вниз по склону. Это явление, с нашей точки зрения, обязано своим происхождением совместному проявлению карста и гравитационных процессов.

Следует отметить, что на КФС все стадии развития асимметричных провалов прямым образом не дешифрируются. Отчетливо выделяются лишь стадии формирования провала, т. е. последствие процесса. Остальные же стадии определены нами с помощью АФС. Однако они могут дешифрироваться через систему индикаторов, которыми являются описанные выше эрозивно-карстовые цирки, рвы и блоки отседания, а также такырные системы у подножий останцовых возвышенностей.

Такыры. Такыры играют большую роль в образовании и распределении поверхностного стока на Устюрте. Такырные и такыровидные почвы обладают высокой водоудерживающей способностью, и на сложных ими водосборах сток обычно формируется по нескольку раз в год. Это может обеспечить водоснабжение пастбищ отгонного животноводства, объектов промышленного и гражданского строительства при использовании такыров в качестве бассейнов искусственного восполнения запасов подземных вод за счет атмосферных осадков [28, 81, 82].

Такыры имеют большое значение в общем процессе освоения Устюрта не только в гидрогеологическом отношении. Они могут использоваться в качестве временных аэродромов для воздушных судов гражданской авиации, которая в настоящее время является одним из основных транспортных средств в этом районе.

Детально исследовал такыры Устюрта Э. А. Агбальянц [4, 5]. Им разработана типизация такыров этого района, основными критериями которой послужили особенности аэрофотоизображения различных типов такыров. Согласно этой классификации они разделяются на такыры отставания, намыва и транзита.

Такыры отставания формируются в обширных депрессиях в виде крупных изолированных такыров или такырных систем за счет отставания тонкого взмученного материала, вблизи останцовых возвышенностей за счет их размыва и связаны с ними конусами выноса. Такыры транзита образуются на слабонаклонных поверхностях в виде сложных разветвленных такырных систем и характеризуются удлинненными контурами, множеством межтакырных проливов, широким развитием участков с линейно-валиковой структурой. Данная классификация послужила основной для оценки возможности использования такыров для целей магазинирования вод. Согласно этой оценке, Э. А. Агбальянцем был сделан вывод о том, что наибо-

лее благоприятными для этих целей являются такыры намыва, затем такыры отстаивания. Наименее пригодны такыры транзита.

В процессе наших работ, проведенных с применением материалов аэро- и космофотосъемок и комплекса наземных исследований, были изучены геоморфологические особенности, состав и свойства отложений различных типов поверхностей делювиально-пролювиальной аккумуляции Устюрта. При этом отложения такыров изучались на полную мощность, включая выветрелые коренные породы. Полученные материалы послужили основой для выделения собственно такыров (типичных такыров) с присущими только им особенностями рельефа, состава, мощности и свойств отложений и характера фотоизображения; такыровидные поверхности; поверхности течения грунта на пологих склонах и поверхности «псевдотакыров», часто ошибочно относимых при дешифрировании АФС к такырам (табл. 9). Ниже подробно рассмотрены выделенные типы поверхностей делювиально-пролювиальной аккумуляции.

Собственно такыры (типичные такыры) формируются в условиях почти горизонтального рельефа или в его понижениях. Поверхность их в большинстве случаев разбита серией трещин на полигональные отдельности, или на микрополигоны. На поверхности многих такыров встречаются западины (блюдца выщелачивания) диаметром до 5 м, глубиной 0,2—0,3 м. Для типичных такыров характерны определенные уклоны, уменьшающиеся от периферии к центру.

Верхняя часть разреза такыров представляет собой плотную серо-бурую суглинистую корку пористого или слоистого строения мощностью до 10 см. Поверхностная плотность изменяется от 1,4 до 1,5 г/см³. Объемная масса верхнего горизонта составляет 1,1—1,2 г/см³. В сухой сезон года этот горизонт характеризуется влажностью 1,3—2,3%. Под корковым горизонтом залегает слоистый горизонт мощностью в несколько сантиметров. Он подстилается суглинками плотными, палево-желтыми карбонатными. Мощность их изменяется от 0,6 до 1,0 м. Общая мощность такырных отложений—1,0—1,2 м. Суглинистые отложения в свою очередь подстилаются сильно трещиноватыми сарматскими известняками. Нижние горизонты суглинков более плотные, их объемная масса колеблется в пределах 1,3—1,57 г/см³. Это обусловлено механическим составом подстилающих отложений и степенью засоленности пород.

Верхние горизонты такырных отложений обладают тяжелым механическим составом с содержанием глинистых частиц 60—78%. Ниже по разрезу содержание глинистых частиц колеблется в пределах 57—77% (суглинки становятся более легкими с включением элювия известняка).

Минерализация и химический состав вод, формирующихся на такырах, зависят главным образом от степени засоления.

Таблица 9

Типы поверхностей делювиально-пролювиальной аккумуляции Центрального Устюрта, выделенные по морфологическим особенностям рельефа, составу, мощности и свойствам слагающих их отложений (по материалам дешифрирования АФС и наземных исследований)

Наименование типов поверхностей делювиально-пролювиальной аккумуляции	Дешифровочные признаки		Характер рельефа поверхности		Литологический состав отложений	Мощность отложений, м	Поверхностная плотность, г/см ³	Влажность, %	Содержание глинистых частиц, %	
Типичные такыры	Зона намыва	Четко выраженные пятна неправильной формы, резко контрастирующие с окружающим фоном. Структура пятен гомогенная. Фототон серый и белесый. Четко различаются зоны намыва и отставания. Граница обусловлена смесью фототона	Фототон серый и темно-серый	Характерны эрозионные борозды, по которым осуществляется сток к центру такыра. Уклон 3—4°. Отсутствие полигональной растресканности	Плоская поверхность такыров разбита трещинами на микрополигоны. Характерные уклоны 2—4°	Сверху суглинистая корка (0,1 м) пористого или слоистого строения; ниже по разрезу плотные, подстилаемые известняками и мергелями сармата	1,0—1,2	1,3—1,4	5—6	55—60
	Зона отставания	Фототон светло-серый и очень светлый	Микрозападинный рельеф. Уклон 1—2°. Характерна полигональная растресканность поверхности	1,5—1,6						
Такыровидные поверхности	Нечетко выраженные пятна с расплывчатыми границами, с меньшим яркостным контрастом по сравнению с типичными такырами. Структура пятнистая, обусловленная рельефом и растительностью. Фототон сложный — от светло- до темно-серого		Возникают на поверхностях с уклоном 3—4°, часто приурочены к данным эрозионных форм. Характерен микрозападинный рельеф (блюдца выщелачивания). Поверхность разбита трещинами на микрополигоны		Сверху суглинистая корка слоистого строения	0,6—0,7	1,3	6—7	35—40	
Поверхности течения грунта на пологих склонах (такыры транзита по Э. А. Аг-бальянцу)	Форма в плане вытянутая, с нечеткими границами. Структура АФИ поперечно-полосчатая. Фототон обусловлен чередованием светло и темно-серых поперечных полос		Возникают на склонах крутизной 5—7°, часто приурочены к днищам эрозионных форм. Характер рельефа мелкогрядистый (валиковый). Гряды валиков ориентированы поперек склона. Представляют собой делювиально-пролювиальные шлейфы		Суглинки с обильными включениями щебня и мелких глыб известняка. Ниже по разрезу — элювий известняка	0,7	0,8—1,2	7	25—30	
Псевдота-кыры	Пятна с четкими границами неправильной формы. Структура АФИ гомогенная. Фототон белесый и светло-серый		Обширные полузамкнутые котловинные поверхности в межгрядовых понижениях водораздельных пространств крупных увалов		Щебнистая присыпка. Залегает на известняках сармата	0,1	1,4	2	—	

По составу анионов водной вытяжки засоление носит обычно сульфатный и сульфатно-хлоридный характер. Количество сульфатов с глубиной увеличивается, и только в редких случаях является хлоридно-сульфатным. В составе катионов преобладает натрий. С глубины 10—15 см содержание солей увеличивается. Величина общей щелочности в корковом горизонте колеблется в пределах 0,5 мг/экв (0,007—0,08%), с глубиной эта величина уменьшается до 0,2—0,1 мг/экв (0,003—0,009%) (табл. 10). Накопление солей происходит в основном за счет минерализации вод атмосферных осадков, испарения с поверхности водосбора и привнесом солей ветром. Засоленность корковых горизонтов не превышает 0,7%, ниже содержание солей возрастает до 2,0%. Содержание гидроскопической влаги зависит от механического состава и засоления грунтов. У типичных такыров в верхнем горизонте она равна 3%, ниже она изменяется в пределах 3,5—6,0%.

Анализ аэрофотоизображений такыров показал, что в их пределах можно выделить две зоны — намыва и отстаивания, а дальнейшее опробование свойств грунтов подтвердило это предположение (см. табл. 9, 10).

Зона намыва отображается на аэрофотоснимках за счет тональных особенностей. Для нее характерен серый и темно-серый фототон и наличие выраженной границы с зоной отстаивания. Различий в структуре изображения этих двух зон не отмечено. Зона намыва приурочена к периферии такыров, для нее характерны уклоны 3—4° и наличие эрозионных борозд, ложбин стока и в некоторых случаях крупных промоин, по которым происходит намыв отложений. Характерным признаком этой зоны является отсутствие полигональной растресканности поверхности. Значения поверхностной плотности отложений зоны намыва составляют 1,3—1,4 г/см³, а значения влажности 5—6%. Содержание глинистых частиц составляет 55—60%.

Зона отстаивания приурочена к центральному наиболее пониженным частям такыров с уклоном 1—2°. Аэрофотоизображение отличается очень светлым и светло-серым фототоном. Характерными признаками зоны отстаивания являются микрозападинный рельеф и полигональная растресканность поверхности. Значения поверхностной плотности грунтов составляют 1,5—1,6 г/см³, а естественной влажности 2—4%. Содержание глинистых частиц 65—80%.

Такыровидные поверхности формируются в условиях пологонаклонного рельефа (3—4°). В большей части они приурочены к делювиально-пролювиальным шлейфам, причем к их верхним гипсометрически более высоким частям, чем типичные такыры, располагающиеся в нижних частях конусов выноса и в понижениях рельефа. Для них также характерна растресканность коркового горизонта. Наиболее физиономичным признаком их является присутствие высшей растительности, в то

Таблица 10

Химический состав отложений различных типов делювиально-пролювиальной аккумуляции Устьурта

Наименование типов поверхностей делювиально-пролювиальной аккумуляции	Глубина взятия образцов, см	Водная вытяжка, %				
		HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$
Типичные такыры						
Зона намыва	0—10	0,03	0,002	0,01	0,01	0,001
	10—60	0,01	0,02	0,7	0,3	0,03
Зона отстаивания	0—10	0,02	0,5—0,6	0,1—0,4	0,02—0,08	0,2—0,5
	10—60	0,01	0,4—0,5	1,1	0,3	0,3
Такыровидные поверхности						
	0—10	0,02—0,03	0,005	0,01—0,3	0,01—0,07	0,01—0,3
	10—60	0,01	0,4—0,6	0,8—1,1	0,3	0,2—0,4
Поверхности течения грунта на склонах (псевдосолифлюкционная поверхность)						
Участки валикового рельефа	0—10	0,01—0,03	0,01—0,2	0,3	0,1—0,2	0,1
	10—60	0,03—0,06	0,01—0,06	0,1—0,8	0,2—0,3	0,1
Участки межваликовых понижений	0—10	0,02	0,2	0,1—0,2	0,02—0,04	0,1—0,2
	10—60	0,01—0,02	0,2—0,3	0,5—0,9	0,3—0,4	0,1—0,2

время как на типичных такырах появляются лишь водоросли и лишайники. Расположены такыровидные поверхности чаще всего недалеко от источников сноса (останцовых возвышенностей), за счет разрушения которых и происходит их формирование. В разрезе такыровидных поверхностей преобладают легкие и средние суглинки общей мощностью 0,6—0,7 м.

Аэрофотоизображение такыровидных поверхностей несколько отличается от типичных такыров. Для них характерен пятнистый рисунок с расплывчатыми границами пятен. Внутри пятен структура гомогенная, но с меньшим яркостным контрастом, чем на такырах. Часто структура мелкопятнистая за счет произрастания растительных сообществ высших растений (боялыч, полынь, зайсанский саксаул). Фототон изображения изменяется от светло-серого до темно-серого.

Водоудерживающие свойства такыровидных грунтов слабее, чем у типичных такырных. Их поверхностная плотность составляет 1,32 г/см³. Суглинки подкоркового горизонта карбонатные. Объемная масса их при естественной влажности 1—2% изменяется от 1,27 до 1,35 г/см³. Содержание глинистых частиц составляет в верхних горизонтах 30—35%, в нижних 30—40%. При этом наблюдается некоторое опесчанивание коркового и подкоркового горизонтов и обеднение глинистыми частицами, что объясняется их постоянным выносом.

Данные анализов водной вытяжки свидетельствуют о связи отложений такыровидных поверхностей с флювиальными процессами. Это выражается резким преобладанием легкорастворимых солей в нижней части разреза над их содержанием в верхних горизонтах. Преобладающими анионами являются Cl^- и SO_4^{2-} , причем содержание ионов Cl^- в верхнем слое 0,009%, а с глубиной увеличивается и колеблется в пределах 0,2—0,6%. Содержание SO_4^{2-} также с глубиной резко увеличивается (см. табл. 10).

Преобладающими катионами являются Na и Ca. На отдельных такыровидных поверхностях преобладает Ca, на других Na. Количество ионов с глубиной также резко увеличивается.

Таким образом, по сравнению с типичными такырами здесь в верхних горизонтах значительно меньше легкорастворимых солей, а в нижних их значительно больше, чем в такырных отложениях. Это связано с тем, что такыровидные поверхности формируются в условиях пологих уклонов рельефа, за счет чего основным и преобладающим процессом их развития является постоянный поверхностный смыв, что исключает большое накопление солей, поскольку для этого необходимы условия оттаивания намывного материала, что свойственно типичным такырам. При этом необходимо отметить, что содержание легкорастворимых солей в нижних частях разреза несколько увеличено, что связано с влиянием элювия сарматских известняков. Как указывалось выше, накопление солей осуществляется в ос-

новном за счет минерализации воды, атмосферных осадков, испарения с поверхности водосбора и привнесом солей ветром. Величина испарения с поверхности зависит от запасов влаги в почве и суммы выпавших осадков. Так как запасы влаги в почвенном слое незначительны в связи с постоянным стоком, засоленность верхних горизонтов меньше, чем на типичных такырах.

Поверхности течения грунта (поверхности «псевдосолифлюкции») возникают на склонах крутизной 5—6° и часто приурочены к днищам эрозионных форм и к делювиально-пролювиальным шлейфам. Наиболее физиономичным признаком этих образований является мелкогравистый (валиковый) рельеф. Гривы (валики) ориентированы поперек склона. Их относительная высота над уровнем общей поверхности до 50 см. В большей своей части валики слегка извилисты, но непрерывны. Однако некоторые из них расчленены на отдельные бугры типа «косичек» длиной 2—3 м. В каждой такой «косичке» обозначается более повышенная часть и удлиненная пониженная часть. На повышенной части обычно произрастают кустарники, чаще всего карагана. Выражены участки пропиливания валиков вторичными эрозионными ложбинами стока с расчленением их на отдельные бугры. Подобный микрорельеф внешне напоминает явление солифлюкции в районах с распространением многолетнемерзлых пород, однако в аридных условиях он является одной из форм проявления склоновых процессов, связанных со смещением грунтовых масс под влиянием поверхностного стока в периоды аномального выпадения атмосферных осадков.

На аэрофотоснимках «псевдосолифлюкционные» поверхности имеют специфическое выражение. Для них характерна поперечнополосчатая структура изображения, обусловленная соответствующей ориентировкой грив, форма изображений в плане вытянутая, с нечеткими границами. Фототон обусловлен чередованием светло- и темно-серых поперечных полос.

Отложения «псевдосолифлюкционных» образований представлены суглинками с включением щебня и иногда мелких глыб известняка. Суглинки карбонатные, огипсованные, мощность их колеблется в пределах 0,5—0,7 м.

Исследования свойств отложений, слагающих гривы, показало, что они довольно пестры по гранулометрическому составу: 28—30% составляют глинистые частицы, в большом количестве присутствуют более крупные частицы (песок с различной крупностью зерен, щебень и дресва известняка). Значения поверхностной плотности составляют 0,8—1,1 м/см³, а влажность 4—4,5%. Грунты, слагающие межваликовые понижения, несколько отличаются по своим свойствам. Содержание глинистых частиц здесь 33—39%. Поверхностная плотность на этих участках 1,21—1,25 г/см³. Влажность суглинков в среднем из-

меняется от 4 до 7%. Объемная масса суглинков 1,51—1,53 г/см³.

Анализы водной вытяжки показывают, что засоление грунтов сульфатное, в редких случаях хлоридно-сульфатное. В составе катионов преобладает Na — 0,1—0,2%, а в более глубоких горизонтах Ca — 0,3—0,4%. Это обусловлено, по-видимому, различиями в растительном покрове. Опробование шурфов, пройденных до кровли сарматских известняков, на поверхностях течения грунта на склонах не обнаружило каких-либо существенных различий в строении отложений по сравнению с рассмотренными выше такыровидными поверхностями.

Особое место при исследованиях поверхностей делювиально-пролювиальной аккумуляции на Устюрте занимают «псевдотакыры». Они имеют идентичный с типичными такырами характер аэрофотоизображения, что часто вызывает ошибки при дешифрировании такыров на аэрофотоснимках. Рисунок их изображения пятнистый, структура внутри пятен гомогенная, фототон белесый. Наземные исследования позволили выявить природу формирования подобных поверхностей. Они образуются на водораздельных поверхностях увалов (преимущественно в сводовых частях антиклинальных структур) и чаще всего приурочены к полузамкнутым котловинам в межрядовых понижениях увалов. Наибольшее распространение они получили на водораздельных пространствах увала Карабаур. В геологическом отношении данные образования представляют собой щебнистые поверхности, лишенные растительности. Мощность щебнистой присыпки 0,1 м. Ниже залегают известняки сармата. Поверхностная плотность щебнистой присыпки, так же как и у такыров, составляет 1,4—1,5 г/см³, влажность 2,5%. Генетически эти поверхности представляют собой котловины эрозионно-денудационного происхождения, формирующиеся в результате разрушения грядообразных поверхностей водораздельного плато, сноса и аккумуляции продуктов разрушения у подножий этих гряд. В связи с тем, что на данных участках практически отсутствуют рыхлые отложения и снос продуктов происходит на небольшие расстояния, рассматриваемые поверхности сложены щебнистым материалом и ничего общего с такырами не имеют.

Рассмотренный в данном разделе фактический материал по комплексному исследованию морфологии и генезиса различных типов поверхностей делювиально-пролювиальной аккумуляции Устюрта позволяет сделать следующие выводы.

Предложенная Э. А. Агбальянцем [4, 5] классификация такыров Устюрта, в основе которой лежит выделение такыров отстаивания, намыва и транзита, построена лишь на основе изучения особенностей их аэрофотоизображения при недостаточно полном учете геоморфологических и геологических факторов. С нашей точки зрения, нельзя выделять отдельно тыкыры намыва и такыры отстаивания, поскольку намыв и отстаивание яв-

ляются обязательными составляющими процесса такрообразования, так как без намыва не может быть отстаивания, а без отстаивания не может сформироваться такыр.

Полученный фактический материал о морфологии различных типов делювиально-пролювиальных поверхностей Устюрта, составе, мощностях и свойствах слагающих их отложений позволил выделить собственно такыры (типичные такыры), такыровидные поверхности, поверхности течения грунта на склонах «псевдосолифлюкционные» поверхности) и «псевдотакыры» (ложные такыры).

Типичные такыры Устюрта — сложное природное явление аридной зоны, возникающее в условиях почти горизонтального рельефа в результате делювиально-пролювиальной аккумуляции суглинистого материала со склонов мощностью до 1 м, с поверхностной плотностью 1,4—1,5 г/см³ и содержанием глинистых частиц 65—80%, сопровождающееся формированием плоских полигонально-растресканных поверхностей. В пределах типичных такыров отчетливо выделяются две зоны: намыва и отстаивания, несколько отличающиеся друг от друга как по характеру аэрофотоизображения, так и по свойствам отложений.

Такыровидные поверхности возникают в условиях слабонаклонного рельефа, за счет чего основным процессом, их формирующим, является поверхностный смыв, при этом роль отстаивания весьма незначительна, что сказывается как на составе, мощности, так и на свойствах их отложений, которые резко отличны от присущих типичных такырам.

«Псевдосолифлюкционные» поверхности являются формой проявления склонового смещения грунта в периоды аномального выпадения атмосферных осадков. Особенности рельефа, состава, мощности и свойств слагающих их отложений доказывают, что они не имеют ничего общего с такырами. Выделенные Э. А. Агбальянцем такыры транзита являются ничем иным, как поверхностями медленного смещения грунта на склонах.

Однако мы не отрицаем возможностей эволюции такыров и такыровидных поверхностей из одних форм в другие за счет поверхностного смыва, эрозии и других процессов. Авторы допускают также существование в процессе формирования такыров различных стадий, например стадию преобладающего намыва, стадию преобладающего отстаивания. Но при этом вне зависимости от того, на какой стадии находится такыр, процессами, его формирующими, являются как намыв, так и отстаивание, но в разных соотношениях.

Вопросы эволюции такыров в настоящее время слабо разработаны и представляются одним из направлений дальнейших исследований. Оценивая изложенный опыт типизации поверхностей делювиально-пролювиальной аккумуляции в прикладных целях, необходимо отметить, что для решения задач водоснабжения отгонных пастбищ, объектов гражданского и про-

мышленного строительства наиболее целесообразно использование типичных такыров, обладающих хорошей водоудерживающей способностью. Такыровидные поверхности для этих целей малопригодны, а псевдосолифлюкционные поверхности и псевдотакры вообще не пригодны. В качестве временных аэродромов для воздушных судов гражданской авиации на Устюрте целесообразнее всего использовать псевдотакры, причем в любое время года, и типичные такыры в любое время года, за исключением весны.

Оценивая роль аэрокосмических методов при изучении экзогенных процессов, следует отметить, что космическая фотосъемка открывает широкие возможности и в изучении экзогенных процессов, однако при этом необходимо сочетать дешифрирование космических фотонзображений с обычными аэрофотоснимками и наземными исследованиями. Перспективность этого подхода подтверждается опытом изучения экзогенных процессов на Устюрте.

Оценка информативности гидрогеологических и инженерно- геологических карт-схем, составленных по материалам космофотосъемки

Сравнение информации гидрогеологических карт удобнее начинать с их легенд. Количество водоносных горизонтов, число градаций подразделения вод по минерализации и детальность определения глубин залегания грунтовых вод приблизительно равны на сравниваемых материалах или отличаются на единицу. Информация, содержащаяся в легенде карты-схемы гидродинамики подземных вод, отсутствует на карте, составленной в результате наземных исследований*. При этом наиболее важной является информация о разгрузке подземных вод в зонах трещиноватости вдоль региональных разломов и «обтекания» грунтовыми водами локальных структур. Эта информация может использоваться при определении распространения вод различной минерализации и глубин залегания подземных вод, причем получить ее с помощью других видов исследований практически невозможно. Рассмотрение детальности отображения гидрогеологических условий в зависимости от ландшафтных показателей, что информация, получаемая с космических снимков, возрастает на участках распространения песков и бессточных впадин, индицирующих зоны новейших прогибаний. Увеличение детальности касается прежде всего глубины залегания грунтовых вод. На карте-схеме, составленной по косми-

* Подразумеваются материалы гидрогеологической съемки, проведенной организациями Министерства геологии СССР на сопредельных районах Устюрта.

ческим снимкам, можно выделить четыре градации, а на карте, составленной по результатам наземных исследований, три градации. На участках плато, совпадающих с современными поднятиями, наоборот, более детальную информацию дают наземные методы исследования (соответственно две и три градации). Еще более отчетливо прослеживается различие в детальности распределения информации космических снимков и наземных исследований при одновременности учета протяженности границ распространения тех или иных гидрогеологических объектов (табл. 11).

Суммарные протяженности границ гидрогеологических объектов на карте-схеме, выполненной на основе дешифрирования космических снимков составляют (в км): границы водоносных горизонтов 1258, границы вод разной минерализации 2442, протяженность границ гидродинамических характеристик 2494. Соответственно на карте, составленной по результатам наземных работ, протяженности границ равны (в км): водоносных горизонтов 1474, глубин залегания 1732 и минерализации вод 1354. Данные по гидродинамике и влиянию структурных элементов на гидрогеологические условия на карте, составленной по результатам наземных работ, отсутствуют.

Обобщающую характеристику количества информации сравниваемых карт можно получить, используя формулы теории информации [96]

$$I = \sum_m^i \log L \cdot \log N + 1,$$

где L — длина контура местности с равными гидрогеологическими условиями; m — количество учитываемых гидрогеологических условий; N — количество сравниваемых контуров (I карты-схемы = 79,34 бита; I карты наземных исследований 53,21 бита).

Приведенный пример количественного сравнения информации гидрогеологических карт, полученных традиционными методами и на основе дешифрирования КФС, показывает, что они в общем сходны по объему информации (79,34 и 53,21 бит). В некоторых случаях информация гидрогеологических карт-схем, составленных по космофотоснимкам, превышает информацию гидрогеологической карты, составленной традиционными методами (на участках новейших прогибаний, информация о связи гидрогеологических условий с разрывной и пликвативной тектоникой), в других случаях, наоборот, содержит меньше информации (участки поднятий). При использовании полученных данных для обоснования эффективности предлагаемой методики применения космофотоснимков в гидрогеологических исследованиях необходимо иметь в виду, что все эти цифры характеризуют только один аспект оценки — количество информации. Качество этой информации, прежде всего ее достоверность, различно. Карты, построенные на основе наземных исследований,

Таблица 11

Количественная оценка информативности гидрогеологических и инженерно-геологических карт-схем, составленных на основе дешифрирования космических снимков в сопоставлении с картами, составленными в процессе съемочных работ

Параметры, определяющие гидрогеологические и инженерно-геологические условия	Информация, полученная с комплекса карт, составленных по КФС		Информация с карты, составленной при съемочных работах	
	Количество контуров	Длина контуров, мм	Количество контуров	Длина контуров, мм
Геологические комплексы пород				
Водоносные горизонты				
Хемогенные современные отложения (hIV)	9	1570	9	1950
Эоловые современные отложения (vIV)	5	2320	4	1928
Проллювиальные современные отложения (pIV)	4	370		100
Элювиальные четвертичные отложения (eI—IV)	12	4212	6	3521
Элювиально-делювиальные четвертичные отложения (edI—IV)	6	2681	—	—
Морские хвалынские отложения (mIII—hv)	2	180		100
Делювиально-коллювиальные плиоцен-четвертичные отложения (dcN ₂ —QIV)	2	168	—	—
Озерные плиоцен-четвертичные отложения (N ₂ —QIII)	2	870	6	1237
Сарматские отложения (N ₃ s ₁)	2	2400	5	2960
Тортонские отложения (N ₂ t)	1	450		450
Водоупорные олигоценовые отложения (P ₂)	2	450	2	240
Итого		15 671		12 486
Глубина залегания грунтовых вод, м				
0—2	10	1650	8	1680
0,5—7	—	—	2	1140
2—5	11	2980	9	1630
2—10	3	1400	—	—
5—10	11	2900	47	2540
Более 10	11	1540	—	—
10—20	—	—	4	1010
20—30	—	—	2	660
Итого		10 570		8660

194

Продолжение табл. 11

Параметры, определяющие гидрогеологические и инженерно-геологические условия	Информация, полученная с комплекса карт, составленных по КФС		Информация с карты, составленной при съемочных работах	
	Количество контуров	Длина контуров, мм	Количество контуров	Длина контуров, мм
Минерализация вод, г/л				
До 1	4	150	2	120
1—3	9	1460	4	340
3—5	12	2310	5	1640
5—10	8	3750	9	2230
10—30	9	2940	7	3100
Более 30	8	1340	—	—
Пестрая минерализация	4	260	—	—
30—140	—	—	9	2130
Итого		12 210		6770
Гидродинамическая характеристика				
Области разгрузки	10	980	—	—
Разгрузка по тектоническим зонам	7	1765	—	—
Частичная разгрузка по тектоническим зонам	4	520	—	—
Области внутригрунтового испарения	10	1895	—	—
Области внутригрунтового испарения и транспирации	5	1740	—	—
Области повышенного питания	3	685	—	—
Области преобладания поверхностного стока над испарением	8	1815	—	—
Области спорадического питания пролювиальных отложений	4	435	—	—
Области спорадического питания хвалынских отложений	2	155	—	—
Области преобладающей инфильтрации	10	1755	—	—
Водоупор	1	250	—	—
Чинки	6	480	—	—
Итого		12 475		628
Геоморфологические элементы	8	812	6	628
Итого		812		628

13*

195

Продолжение табл. 11

Параметры, определяющие гидрогеологические и инженерно-геологические условия	Информация, полученная с комплекса карт, составленных по КФС		Информация с карты, составленной при съемочных работах	
	Количество контуров	Длина контуров, мм	Количество контуров	Длина контуров, мм
Современные экзогенные процессы				
Двигающиеся оползни	4	246	—	—
Оврагообразование	8	541	3	295
Развевание	5	600	5	600
Засоление	9	1213	9	1213
Карст и суффозия	6	315	—	—
Такирообразование	28	418	8	85
Итого		3 333		2 195
Всего		55 071		30 739

содержат непосредственно замеренные данные о глубинах залегания подземных вод, об их химизме, и в то же время карты-схемы, составленные на основе дешифрирования КФС, имеют вероятностный характер в отношении достоверности содержащейся в них информации. Отличается глубина отражения гидрогеологических условий, она ограничивается первым водоносным горизонтом. Таким образом, полученные с помощью КФС материалы не являются заменой кондиционной гидрогеологической карты. Однако в отдельных случаях они дополняют и расширяют представление об условиях формирования, транзита и разгрузки подземных вод верхнего гидрогеологического этажа.

Поскольку инженерно-геологическая съемка на Устьюрте не проводилась, то авторы были лишены возможности использования для сравнительной оценки эталонных карт, как это удалось осуществить при оценке информативности гидрогеологических материалов. В связи с этим для оценки информативности инженерно-геологических карт-схем был применен анализ количества и качества инженерно-геологической информации, полученной при дешифрировании разномасштабных аэро- и космофотоснимков. При этом проведен анализ снимков глобальной, регионального, локального и детального уровней генерализации. Основной целью такого анализа являлся выбор оптимального масштаба космофотоснимков для осуществления среднемасштабного инженерно-геологического картирования. Ниже рассмотрена информативность четырех карт-схем инже-

196

нерно-геологических условий, составленных по общепринятым в инженерной геологии принципам [143].

Три из этих карт-схем составлены по результатам дешифрирования космофотоснимков глобального, регионального и локального уровней генерализации и охватывают территорию исследований (Северо-Западный Устюрт) полностью. Четвертая карта-схема составлена по результатам дешифрирования АФС детального уровня генерализации на площадь ключевого участка в песках Матайкум. Результаты сравнения количества информации, полученной во всех вышеперечисленных случаях, приведены в табл. 12.

В левой части таблицы перечислены все параметры, определяющие инженерно-геологические условия, встречающиеся на какой-либо из составленных карт-схем и нашедшие отражение в легендах к ним. Сравнение осуществлялось на базе инженерно-геологической информации, полученной при дешифрировании КФС локального уровня генерализации, принятого нами в качестве основы. Это связано с тем, что именно в результате дешифрирования снимков этого уровня генерализации был получен максимум инженерно-геологической информации. Изменение количества информации при изменении масштаба снимков оценивалось как качественно по наличию и детальности выделения параметров, так и количественно, путем получения суммарной линейной нагрузки. При уменьшении масштаба КФС объем получаемой со снимков информации не только уменьшается, но и качественно изменяется. Так, на снимках регионального уровня генерализации не видны конусы выноса пролювия на плато. Рисовка границ распространения геолого-генетических комплексов менее детальна. Причем уверенно дешифрируется в 2—4 раза меньше границ, чем на КФС локального уровня генерализации. Выделяются пологие уступы, отдельные гряды в песчаных массивах, движущиеся крупные оползни на склонах плато. В пределах песчаных массивов дешифрируются формы эоловой аккумуляции, но по количеству их выделяется намного меньше. Суммарная линейная нагрузка в пределах песчаных массивов уменьшается на 5—14 км. Меньшая детальность контурного дешифрирования по снимкам регионального уровня генерализации позволяет выделить лишь 8 участков по глубине залегания первого от поверхности водоносного горизонта. По снимкам локального уровня генерализации их выделено 10.

С увеличением уровня генерализации фотоизображения лучше дешифрируются крупные линеаменты, но в то же время мелкие не видны. Поэтому общая протяженность разрывных нарушений, выявленных на КФС регионального уровня генерализации, меньше на 20 км, чем на исходной карте-схеме, составленной по снимкам локального уровня генерализации.

На общем фоне снимков с ОНС «Салют-4» хорошо дешифрируются площади современного засоления грунтов. Но так

Таблица 12

Количественная оценка информативности инженерно-геологических карт-схем, составленных по материалам разномасштабных аэро-космофотосъемок Северо-Западного Устья

Параметры, определяющие инженерно-геологические условия	Информация, получаемая с КФС различных уровней генерализации и с АФС											
	Глобальный			Региональный			Локальный			Детальный		
	в легенде	на карте дешифрируемость		в легенде	на карте дешифрируемость		в легенде	на карте дешифрируемость		в легенде	на карте дешифрируемость	
		хорошая	плохая		хорошая	плохая		хорошая	плохая		хорошая	плохая
Генетические типы и возраст отложений												
Делювиально-колювиальные плиоцен четвертичные (dcN ₃ -Q IV)	—	—	—	+	90	—	+	132	—	0	0	0
Морские хвалыньские (m III-hv)	—	—	—	+	20	—	+	40	—	0	0	0
Элювиальные четвертичные (e I-IV)	+	—	80	+	120	150	+	276	80	0	0	0
Элювиально-делювиальные четвертичные (edI-IV)	+	—	100	+	130	210	+	448	64	0	0	0
Пролувиальные верхнечетвертичные и современные (p III-IV)	—	—	—	+	40	—	+	122	—	0	0	0
Делювиально-пролувиальные верхнечетвертичные и современные (dp III-IV)	—	—	—	+	50	20	+	100	—	0	0	0
Пролувиальные современные (p IV)	—	—	—	+	10	—	+	12	—	0	0	0
Хемогенные современные (h IV)	+	140	—	+	220	—	+	240	—	+	1,6	—
Эоловые современные (v IV)	+	—	100	+	140	80	+	180	—		216	
Современные экзогенные процессы (только по легендам):												
движущиеся оползни	—			—			+			0		
интенсивное оврагообразование	—			+			+			0		
развевание	+			+			+			+		

По распространению форм эоловой аккумуляции можно более детально районировать песчаный массив. В соответствии с этим на АФС можно выделить семь участков по глубине залегания грунтовых вод (по КФС — лишь четыре). На АФС хорошо дешифрируются отдельные формы эоловой аккумуляции (барханы, гряды, бугры).

Количественная оценка информативности проведена по показателю I (информативность), который рассчитан для всех рассмотренных выше карт-схем по предложенной формуле (анализ информативности по легендам): $I_{\text{глоб. уров}} = 0,6021$, $I_{\text{регион. уров}} = 1,8062$, $I_{\text{локальн. уров}} = 2,4345$; на ключевой участок: $I_{\text{локальн. уров}} = 1,1761$, $I_{\text{детальн. уров}} = 1,2523$.

Таким образом, количество получаемой информации увеличивается прямо пропорционально масштабу снимков. Расчет количества информации, полученной со снимков, осуществлен по каждой из карт-схем, но не по всей площади исследований, а по отдельным контурам, по формуле

$$I = \sum \lg L \cdot \lg (1 + D),$$

где L — длина границ; D — число показателей, характеризующих контур.

Количество информации (I), полученное с каждого КФС по контурам распространения элювиальных и элювиально-делювиальных отложений, составляет: $I_{\text{глоб. уров}} = 1,95$; $I_{\text{регион. уров}} = 2,4$; $I_{\text{локальн. уров}} = 5,6$.

С увеличением масштаба снимков количество информации возрастает в 4—5 раз.

Расчет количества информации, полученной для ключевого участка в песках Матайкум, проведен по снимкам локального и детального уровня генерализации по той же формуле, но в данном случае рассмотрен лишь контур распространения эоловых отложений: $I_{\text{локальн. уров}} = 0,32$; $I_{\text{детальн. уров}} = 0,36$.

Исходя из этого, можно заключить, что общее количество информации увеличивается незначительно. Это происходит за счет более детальной рисовки контуров и проявления на снимках мелких деталей в их пределах.

Обобщая результаты сравнения содержания инженерно-геологических схем по результатам дешифрирования разномасштабных снимков, необходимо отметить, что при уменьшении масштаба снимков происходит уменьшение детальности картирования контуров геолого-генетических комплексов без существенного уменьшения их числа, однако при дальнейшем уменьшении масштаба резко сокращается количество контуров и принципиально изменяется конфигурация их рисовки.

При увеличении масштаба снимков количество выделяемых на них геолого-генетических комплексов пород не меняется,

происходит лишь незначительная детализация их рисовки, вместе с тем быстро возрастает количество выделяемых отдельных форм рельефа и площадей их распространения.

Из анализа количества информации, полученной с аэро- и космофотоснимков различных уровней генерализации следует, что наиболее эффективно при региональных гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях применение космофотоснимков локального уровня генерализации.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Космическая гидрогеология и инженерная геология — как новое направление региональных исследований возникло недавно и нашло практическое применение при решении ряда актуальных задач гидрогеологического и инженерно-геологического картирования, изучения закономерностей формирования, гидродинамических особенностей и поисков месторождений подземных вод, а также исследования природных процессов, влияющих на инженерно-хозяйственную деятельность человека.

По мере совершенствования космических методов исследований их значение в гидрогеологии и инженерной геологии будет возрастать, а возможности расширяться.

В настоящее время можно наметить следующие основные направления дальнейшего развития аэрокосмических методов в гидрогеологии и инженерной геологии:

- совершенствование методики гидрогеологического и инженерно-геологического картирования;
- изучение водного баланса и ресурсов подземных вод;
- совершенствование сканерных дистанционных методов и методики их использования;
- автоматизация обработки дешифровочной информации.

Основываясь на опыте использования материалов съемок из космоса в других отраслях геологии, прежде всего геологической съемки, а также принимая во внимание результаты комплексных гидрогеологических и инженерно-геологических работ, проведенных на космогеологических полигонах, можно предложить два основных пути по использованию материалов КФС в гидрогеологической и инженерно-геологической съемках: а) применение дешифрирования КФС в комплексе методов мелко- и среднемасштабных гидрогеологических и инженерно-геологических съемок; б) проведение нового вида региональных исследований — космофотогидрогеологического и инженерно-геологического картирования.

Применение дешифрирования космических снимков в комплексе методов мелко- и среднемасштабной гидрогеологической и инженерно-геологической съемки будет способствовать главным образом получению дополнительной, часто принципиально новой информации, особенно о связи гидрогеологических и инженерно-геологических условий с тектоникой. Это особенно перспективно при осуществлении групповых съемок в районах хо-

зайтвенного освоения. Использование КФС даст здесь преимущественно народнохозяйственный эффект, экономическую оценку которого можно провести только в результате межотраслевых исследований. Одновременно использование космофотоснимков позволит несколько снизить трудоемкость отдельных видов работ, например предполевого дешифрирования, и заменить некоторые объемы более дорогостоящих наземных работ камеральным дешифрированием, что обеспечит определенный отраслевой экономический эффект.

Проведение космофотогидрогеологического и инженерно-геологического картирования обусловлено рядом обстоятельств. Относительно широкое использование информации космических снимков в геологических исследованиях привело к значительным изменениям представлений о геологическом строении некоторых регионов. Учитывая тесную связь гидрогеологических и инженерно-геологических условий со структурным планом территории, необходима ревизия некоторых гидрогеологических и инженерно-геологических карт.

Космофотогидрогеологическое и инженерно-геологическое картирование перспективно проводить на площадях, ранее не заснятых, с несложными гидрогеологическими и инженерно-геологическими условиями для получения (при минимальных затратах) карт с отображением на них гидрогеологических условий первых от поверхности водоносных горизонтов и инженерно-геологических условий, преимущественно покровных отложений. Космофотокарты базируются на визуальном и инструментальном дешифрировании космических снимков, использовании данных тематических и геологических работ, ранее проводимых на изучаемой территории, и небольшого объема контрольных наблюдений.

Космофотогидрогеологическое и инженерно-геологическое картирование наиболее целесообразно проводить в районах, где проектируются региональные преобразования ландшафта (перевоска рек, мелиорация земель, строительство транспортных магистралей). В таких районах, как правило, уже проведена государственная геологическая съемка.

На основе имеющихся материалов целесообразно осуществить составление космофотокарт, что позволит получить информацию о гидрогеологических и инженерно-геологических условиях с минимальными затратами. При этом стоимость такого вида картирования по опыту работ авторов составит 10—15% стоимости традиционной полистной съемки. Благодаря большой обзорности и генерализации изображений КФС открывают возможности изучения и картирования целостных природных комплексов анализа в интересах гидрогеологии и инженерной геологии, используя для этого системный анализ.

Перспективным направлением дистанционных методов является их использование для оценки элементов водного баланса

и ресурсов подземных вод. При этом предусматривается осуществление количественных расчетов с использованием информации как непосредственно извлекаемой из КФС, так и получаемой с помощью опытных работ и стационарных режимных наблюдений.

Применение КФС позволяет создать площадную гидрогеологическую модель, установить площади питания, транзита и разгрузки подземных вод, дифференцировать их по инфильтрационным свойствам пород и водопроницаемости, используя ландшафтные взаимосвязи.

Ввиду этого перспективно осуществление расчетов питания подземных вод, особенно в аридных районах, где основным его источником является фильтрация поверхностного стока, а также перетекание подземных вод из нижележащих горизонтов. Использование КФС позволит типизировать территории по условиям питания, а применяя формулы водно-балансовых уравнений, возможно ориентировочно определить величины питания подземных вод.

Космические методы обеспечивают также получение информации о разгрузке подземных вод, которая может быть использована не только для их картирования, но и для расчетов величин разгрузки косвенным путем, на основе оценки гидрогеологических параметров водных объектов, транспирационных расходов растительности и величин испарения. Все это дает возможность подойти к изучению подземного стока и его параметров, которые могут быть использованы для гидрогеологических расчетов.

С помощью сканерных съемок решается более узкий круг задач, чем с применением КФС. Использовать результаты сканерных съемок для решения частных задач гидрогеологии и инженерной геологии следует лишь в сочетании с аэрофото съемкой. Проводить съемки целесообразно на таких участках, где по предварительным данным могут быть получены хорошие результаты.

Съемки ИК и РТ наиболее эффективны при изучении гидрогеологических и инженерно-геологических объектов, имеющих резкие тепловые контрасты в соответствующих диапазонах длин волн и отличающихся от фоновых. Сканерные съемки осуществляются при поисках и картировании участков локализации и близкого залегания подземных вод, зон их разгрузки, обводненных зон разломов, при изучении гидротермальных особенностей подземных вод. В инженерной геологии они наиболее эффективны при изучении многолетнемерзлых пород и островной мерзлоты, а также при исследовании экзогенных процессов, которые в первую очередь связаны с влажностью, температурными условиями и засоленностью грунтов. Перспективно применение съемок ИК и РТ для анализа оползней течения, периодически активизирующихся в результате изменения режима влажности.

В данном случае на основе повторных съемок можно прогнозировать устойчивость оползневых склонов.

При проведении съемки РЛ выявляются разрывные тектонические нарушения, скрытые под толщей рыхлых образований, определяются мощность рыхлого чехла и взаимоотношение его с коренными породами. Для получения одновременной дистанционной и наземной информации о физических параметрах объектов, определяющих характер дистанционных изображений, специальные дистанционные съемки желательно осуществлять на основном этапе работ. Ввиду колебаний влажности и температуры пород следует выполнять как суточные, так и сезонные циклы съемок и наземных исследований, что позволит выявить оптимальные условия проведения специальных дистанционных съемок и дешифрирования их материалов.

Большие перспективы откроет использование многоспектральных съемок, позволяющих одновременно изучать природные образования в различных зонах спектра, что обеспечивает повышение достоверности результатов дешифрирования и их детализацию.

Несмотря на большой объем информации, получаемой с помощью дистанционных съемок, она носит субъективный характер и нуждается в уточнении, подтверждении и оценке достоверности. В связи с этим большую роль приобретают методы наземного обоснования, с помощью которых можно установить взаимосвязь между ландшафтными индикаторами и дешифровочными признаками, физическими параметрами изучаемых объектов и их изображениями. В комплекс методов наземного обоснования входят: ландшафтно-индикационные исследования с полевым дешифрированием материалов АФС, геофизические методы (сейсмо- и электроразведка), экспресс-методы определения влажности, плотности и температуры горных пород, отбор проб грунтов и подземных вод для лабораторных определений, а также опытные полевые работы по изучению процессов влагопереноса в зоне аэрации.

Учитывая все более возрастающий поток космической информации и особенно спутниковых данных, большое значение приобретает автоматизация обработки дешифровочной информации на основе использования автоматизированных устройств выделения и фильтрации изображений по оптической плотности в заданных интервалах и получения количественной информации с последующим вводом в ЭВМ для ее оценки.

Проблема автоматизации обработки дешифровочной информации может решаться путем использования теории распознавания образов и создания автоматизированных систем «человек — машина».

1. *Абросимов И. К.* Индикационный ландшафтно-геоморфологический анализ при гидрогеологических исследованиях в пустынях (на примере Восточного Мангышлака и Северного Приаралья). [Автореф. канд. дис.]. М., 1971. 20 с.
2. *Абросимов И. К., Богородский С. М., Востокова Е. А.* Ландшафтные взаимосвязи и их использование при дешифрировании материалов аэро- и космических съемок при изучении глубинного строения западной части Туранской плиты. — В кн.: Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. Т. 2. М., 1974, с. 59—72.
3. *Абросимов И. К., Востокова Е. А.* Перспективы применения материалов космических съемок при гидрогеологических исследованиях. — Изв. вузов. Геология и разведка. М., 1973, № 7, с. 118—128.
4. *Агбальянц Э. А.* Дешифрирование такыров и такырных систем плато Устюрт, как площадей формирования поверхностного стока. — Узб. геол. журнал, 1970, № 2, с. 74—76.
5. *Агбальянц Э. А.* Аэроландшафтные методы при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях. [Автореф. канд. дис.]. Ташкент, 1971. 21 с.
6. *Аковецкий В. И.* Обзор состояния радиолокационной съемки за рубежом. — Изв. вузов. Геодезия и аэросъемка, 1968, № 4, с. 142—148.
7. *Астахов В. И., Ероменко В. Я.* Новейший структурный план и рельеф Западной Сибири по данным телевизионной космической съемки. — В кн.: Исследование природных ресурсов космическими средствами. Геология и геоморфология. Т. 5. М., 1976, с. 231—242.
8. *Апостолов Ю. С., Селиванов А. С.* Многоспектральные съемки природных образований оптико-механическим сканирующим комплексом «Фотосканер». — В кн.: Аэрометоды в географии. М., 1974, с. 17—20.
9. *Значение результатов дешифрирования космических фотоснимков при изучении основных структурных особенностей земной коры.* И. А. Афоничев, Л. И. Боровиков, А. В. Доливо-Добровольский и др. Геотектоника, 1976, № 1, с. 30—44.
10. *Аэрометоды геологических исследований.* (Ред. А. И. Виноградов). Л., Недра, 1971. 703 с.
11. *Башилова И. И., Махин Г. В.* — Принципы построения космогенетических карт масштаба 1 : 2 500 000—1 : 5 000 000 на основе дешифрирования телевизионных космических снимков. — В сб.: Использование информации, получаемой из космоса для решения геологических задач. Тезисы докладов совещания в Москве. ВИЭМС, М., 1976, с. 25—27.
12. *Богомолов Л. А.* Дешифрирование аэрофотоснимков. М., Недра, 1976. 144 с.
13. *Богородский С. М., Гаврилов В. П.* Строение Туранской плиты по данным комплексной интерпретации геолого-геофизических и космогеологических исследований (в связи с перспективами нефтегазоносности). — Изв. вузов. Геология и разведка. М., 1973, № 7, с. 97—111.

14. Брюханов В. Н., Еремин В. К. Итоги внедрения новых видов региональных геологосъемочных работ в системе Министерства геологии СССР. Обзор. Общая и региональная геология и геологическое картирование. М., ВИЭМС, 1975. 30 с.
15. Бурдэ А. И. Принципы и методы определения рационального комплекса исследований. Л., Недра, 1972. 156 с.
16. Бурлешин М. И., Лисенков А. Б. Использование результатов дешифрирования космических снимков для выявления условий формирования подземных вод глубоких горизонтов (на примере Южного Мангышлака).— В сб.: Мат-лы III научн. конф. аспирантов и молодых ученых. Сер. гидрогеология, МГУ. М., 1976, с. 10—16.
17. Викторов С. В. Использование индикационных географических исследований в инженерной геологии. М., Недра, 1966. 120 с.
18. Викторов С. В. Пустыня Устюрт и вопросы ее освоения. М., Наука, 1971. 133 с.
19. Викторов С. В. Аэроландшафтная индикация последствий деятельности человека в пустынях. М., Недра, 1973. 57 с.
20. Викторов С. В. Физико-географические районы Устюрта и индикаторы их эволюции.— Проблемы освоения пустынь, 1974, № 6, с. 3—8.
21. Викторов С. В. Ландшафтные индикаторы гидрогеологических и инженерно-геологических условий в районах орошения и обводнения пустынь. М., Недра, 1976. 56 с.
22. Викторов С. В., Востокова Е. А., Вышивкин Д. Д. Введение в индикационную геоботанику. М., Изд-во МГУ, 1962. 227 с.
23. Виноградов Б. В. Космические методы в географии.— Изв. АН СССР. Сер. географ., 1972, № 3, с. 79—89.
24. Виноградов Б. В. Определение влажности почвы дистанционными аэрокосмическими методами.— Водные ресурсы, 1973, № 3, с. 70—92.
25. Виноградов Б. В. Космические методы изучения природной среды. М., Мысль, 1976. 286 с.
26. Виноградов Б. В., Григорьев Ал. А. Космические методы изучения природной среды.— В сб. Теоретические и общие вопросы картографии. Сер. Итоги науки и техники. Т. 1. М., ВИНТИ, 1974, с. 20—26.
27. Виноградов Б. В., Кондратьев К. Я. Космические методы земледения. Л., 1971. 189 с.
28. Вишняков А. С., Куликов Г. В., Соколов В. Н. О гидрогеологических исследованиях для изучения условий искусственного формирования пресных грунтовых вод на Устюрте.— Проблемы освоения пустынь. 1969, № 3, с. 43—52.
29. Волчанская И. К., Сапожникова Е. Н. Сопоставление результатов морфо-структурного анализа с дешифрированием космических снимков.— В сб.: Исследование природных ресурсов космическими средствами. Геология и геоморфология. Т. 5. ВИНТИ, М., 1976, с. 231—242.
30. Вопросы методики геологического дешифрирования космических изображений Земли.— В. Г. Трифионов, С. Л. Бызова, А. А. Ведешин и др. В сб.: Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. М., 1973, с. 11—69.

31. *Воскресенский С. С.* Геоморфология Сибири. М., Изд-во МГУ, 1962. 352 с.
32. *Востокова Е. А.* Геоботанические методы поисков подземных вод в засушливых областях Советского Союза. М., Госгеолтехиздат, 1961. 88 с.
33. *Востокова Е. А.* Теоретические основы ландшафтно-гидроиндикационных исследований и методика использования их при поисках грунтовых вод в пустынях. [Автореф. докт. дис.] М., 1967. 44 с.
34. *Востокова Е. А.* Возможности использования многозональной космической съемки для индикации природных процессов в пустынях. — Тезисы Всесоюз. научн. конф. по комплексному изучению и освоению пустынных территорий СССР. Ашхабад, Ылым, 1976, с. 21—22.
35. *Востокова Е. А.* Антропогенные изменения гидрогеологических условий по ландшафтно-индикационным данным. — В сб.: Биogeографические и индикаторные исследования. Моск. фил. Всесоюз. геогр. об-ва. М., 1977, с. 47—50.
36. *Востокова Е. А., Абросимов И. К., Новикова Н. М.* Использование разномасштабных аэро- и космофотоснимков для целей гидрогеологического картирования и районирования. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1974, № 12, с. 134—144.
37. *Востокова Е. А., Шавырина А. В., Ларичева С. Г.* Справочник по растениям-индикаторам грунтовых вод и почво-грунтов для южных пустынь СССР. М., Госгеотехиздат, 1962. 126 с.
38. *Геологические* исследования из космоса. (Пер. с англ.). М., Мир, 1975. 287 с.
39. *Гидрогеологические* бассейны Средней Азии и их нефтегазоносность. М., Недра, 1971. 223 с.
40. *Гидрогеология* СССР. Вып. 7. Основные закономерности распространения подземных вод на территории СССР (Ред. Н. В. Роговская). М., Недра, 1966. 104 с.
41. *Гидрогеология* СССР. Т. 39. (Ред. Г. А. Мавлянов). М., Недра, 1971. 472 с.
42. *Глушков В. М.* Новое средство получения ледовой информации. — Морской флот, 1970, № 9, с. 27—28.
43. *Гольц С. Л.* Новые данные о карте Устюрта. — Труды союзной геолого-поисковой конторы. Вып. 1. М., 1969, с. 89—90.
44. *Гохман В. М., Меклер М. М.* Теория информации и тематическое картографирование. — В кн.: Теоретическая картография, М., 1971, с. 172—183.
45. *Григорьев Ал. А.* Инфракрасная космическая съемка Земли для географии. — Изв. АН СССР. геогр., 1973, № 3, с. 114—121.
46. *Григорьев Ал. А.* Космическая индикация ландшафтов Земли. М., Изд-во ЛГУ, 1975. 166 с.
47. *Гудилин И. С.* Использование космических фотоснимков при инженерно-геологическом и гидрогеологическом картировании. — В кн.: Использование информации, получаемой из космоса для решения геологических задач. М., 1976, с. 47—49. ВИЭМС.
48. *Гудилин И. С., Запорожец В. А.* Индикационное дешифрирование космических снимков для инженерно-геологических целей. — В кн.: Аэрометоды в географии. М., 1974, с. 27—30.

49. *Гусев Н. А., Кариженский Е. Н., Шилин Б. В.* Об использовании инфракрасной аэросъемки при выявлении участков избыточного увлажнения и выходов подземных вод. — Советская геология, 1971, № 1, с. 155—160.
50. *Гусев Н. А., Кариженский Е. Н., Шилин Б. В.* Инфракрасная аэросъемка при изучении района активной геотермальной деятельности. — Советская геология, 1972, № 1, с. 114—119.
51. *Гусев Н. А., Шилин Б. В.* Тепловая аэросъемка вулканов Камчатки. — Советская геология, 1969, № 5, с. 139—147.
52. *Дикенштейн Г. Х.* Тектоника и нефтегазоносность западных районов Средней Азии. М., Гостоптехиздат, 1963. 310 с.
53. *Дистанционная* индикация влагозапасов атмосферы и подстилающей поверхности. В. В. Кондратьев, В. В. Меленьев, Ю. Н. Рабинович, Е. М. Шульгина. Водные ресурсы, 1973, № 2, с. 58—68.
54. *Доливо-Добровольский А. В., Стрельников С. И.* Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. Т. 5. М., Изд-во ВИНТИ, 1976, с. 184—203.
55. *Еремин В. К., Брюханов В. Н.* Значение и место космических методов в региональных геологических исследованиях и изучении природных ресурсов. В кн.: Использование информации, получаемой из космоса, для решения геологических задач. Тез. докл. сов. геол. в Москве. М., 1976, с. 4—5. ВИЭМС.
56. *Еремин В. К., Мусатов Д. И., Юон О. И.* Пути определения эффективности геологосъемочных работ. — Бюл. «Обмен опытом по повышению экономической эффективности всех видов региональных геологосъемочных работ на основе внедрения порайонных цен». — Красноярский рабочий. 1975, № . . ., с. 3—19.
57. *Зонн С. В.* Перспективы применения аэрокосмической съемки в целях мелиорации и охраны окружающей среды. — Гидротехника и мелиорация, 1975, № 7, с. 122—126.
58. *Иванова Т. П.* Результаты геоморфологического дешифрирования космического снимка района оз. Нейриз, сделанного с американского космического корабля «Джемини-V». — В сб. Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. Т. 5. М., Изд-во ВИНТИ, 1976, с. 142—148.
59. *Использование* аэрометодов и космической информации в гидрологических исследованиях. В. В. Куприянов. — Труды Гос. гидрол. ин-та. Вып. 205. Л., 1975. 136 с.
60. *Использование* информации, получаемой из космоса, для решения геологических задач. — Тез. докл. М., ВИЭМС, 1976. 60 с.
61. *Исследование* природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. (Ред. В. Г. Трифионов, Л. А. Ведешин). Вып. 1. М., Изд-во АН СССР, 1973. 125 с.
62. *Исследование* природной среды космическими средствами. География. Методы космической фотосъемки. Т. 4. (Ред. Ю. Ф. Книжников и др.). М., Изд-во ВИНТИ, 1975. 243 с.
63. *Исследование* природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. Т. 5. (Ред. Л. А. Ведешин и др.). М., ВИНТИ, 1976. 291 с.
64. *Калинин Г. П.* Изучение водных ресурсов по материалам аэрокосмиче-

- ских съемок. В кн.: Исследование природной среды космическими средствами. М., ВИНТИ, 1976, с. 211—221.
65. Калинин Г. П., Курилова Ю. В., Колосов П. А. Возможности применения спутниковой информации для изучения глобального водообмена. — Водные ресурсы, 1976, № 6, с. 17—35.
66. Калугин С. К. Подземные воды Джекказган-Улутауского района Центрального Казахстана. Алма-Ата, Наука, 1967. 137 с.
67. Кац Я. Г., Рябухин А. Г., Трофимов Д. М. Космические методы в геологии. М., Изд-во МГУ, 1976. 246 с.
68. Киенко Ю. П. Проблемы космического природоведения. — Геодезия и картография, 1976, № 4, с. 18—29.
69. Ким Э. К. Подземные воды песчаных массивов Мангышлак-Устюртского района. (Условия залегания, формирование, запасы и использование). [Автореф. канд. дис.]. Алма-Ата, 1970, 28 с.
70. Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И. Исследование природных ресурсов Земли методами космической съемки. — Метеорология и гидрология. М., 1974, № 10, с. 111—116.
71. Клейнер Ю. М. Последние этапы тектонической истории Устюрта и Южно-Мангышлакского плато. — Докл. АН СССР. Т. 160, 1965, № 6, с. 1372—1375.
72. Клейнер Ю. М. Роль тектоники в формировании рельефа Устюрта и Южно-Мангышлакского плато. Автореф. канд. дис. М., 1966, 25 с.
73. Козлов В. В., Сафронов Д. С. Возможности использования радиолокационной аэросъемки при геологических исследованиях. — Бюл. НТИ. Сер. Методика съемки, поисков, разведки и оценки месторождений полезных ископаемых. М., 1966, № 1, ОНТИ ВИЭМС, с. 40—42.
74. Комаров В. Б., Старостин В. А., Нявро Б. П. Радиолокационная аэросъемка и ее значение в комплексе аэро- и космических методов геологических исследований. — В кн.: Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. М., 1973, с. 111—120. ВИНТИ.
75. Комаров В. Б., Старостин В. А., Нявро Б. Л. Развитие исследований в СССР по использованию радиолокационных изображений для геологических целей. — В сб. «Исследование природной среды космическими средствами». Геология и геоморфология. Т. 2. М., 1974, с. 103—107. ВИНТИ.
76. Космическая фотосъемка и геологические исследования (Ред. С. И. Гонин, С. И. Стрельников). Л., Недра, 1975. 416 с.
77. Косолапов В. В. Информационные потоки и прогнозирование науки. — В кн. «Науковедение, прогнозирование, информатика». Киев, 1970, с. 180—190.
78. Кузнецов Ю. Я. Карст Устюрта. — В сб. «Землеведение». Т. 6. М., 1963, с. 196—212.
79. Кузнецов Ю. Я. Плато Устюрт как пример карстовой области пустыни. — В кн.: Типы карста в СССР. М., 1965, с. 56—60.
80. Куликов Г. В. Гидрогеологические условия Каракалпакского Устюрта. Ташкент, 1971. 103 с.
81. Кунин В. Н. Изучение местных вод пустынь. — Проблемы освоения пустынь. 1967, № 5, с. 40—56.

82. *Кунин В. И., Лещинский Г. Т.* Временный поверхностный сток и искусственное формирование грунтовых вод в пустыне. М., Изд-во АН СССР, 1960. 160 с.
83. *Курдиновский О. Ю.* О программе научных экспериментов по исследованию земных ресурсов с помощью орбитальной станции «Скайлэб». — Изв. вузов. Геология и разведка, 1974, № 12, с. 131—133.
84. *Ландшафтная индикация природных процессов.* (Ред. А. Г. Чикишев). Колл. авторов. М., Наука, 1976. 206 с.
85. *Махин Г. В.* О применении материалов многоспектральных сканерных съемок для изучения геологических структур. — В кн.: Аэрометоды в географии. М., 1974, с. 20—22.
86. *Методика* индикационного дешифрирования разномасштабных аэро- и космических снимков и топографических карт как основа структурно-геоморфологического анализа закрытых районов (на примере Устюрта). Л. И. Соловьева, С. М. Богородский, Г. С. Бурлакова и др. — В кн.: Исследования природных ресурсов космическими средствами. Геология и геоморфология. Т. 5. М., 1976, с. 161—168. ВИНТИ.
87. *Методическое* руководство по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелиоративного строительства. (Ред. Н. И. Плотников). Вып. 1. М., 1972. 140 с.
88. *Методологические* принципы составления тематических карт геологического содержания на основе материалов космических съемок. В. Н. Брюханов, В. К. Еремин, Г. В. Махин, В. А. Фараджев. — В кн.: Использование информации получаемой из космоса для решения геологических задач. ВИЭМС. М., 1975, с. 7—13.
89. *Методы* ускоренного инженерно-геологического картирования. В. М. Вальях, И. С. Комаров, В. Ф. Рубахин, А. В. Садов. Обзор. Сер. гидрогеол. и инж. геол. ВИЭМС, 1966, № 2. 107 с.
90. *Мирошников М. М.* Тепловидение при изучении природных ресурсов с воздуха. — Оптико-механическая промышленность. 1971, № 3, с. 3—9.
91. *Мирошниченко В. П.* Аэрогеосъемка. М—Л., Госгеолиздат, 1946. 303 с.
92. *Многозональная* аэрокосмическая съемка и ее использование при изучении природных ресурсов. (Ред. Ю. Ф. Книжников). М., Изд-во МГУ, 1976. 146 с.
93. *Мяло Е. Г., Горяинова И. Н.* Индикация природных процессов и выявление тектонически активных участков. — В кн.: Ландшафтная индикация природных процессов. М., Наука, 1976, с. 96—102.
94. *Назарова Н. П.* Некоторые вопросы методики ландшафтно-индикационных исследований в условиях антропогенных ландшафтов. — В кн.: Биогеография и народное хозяйство, Моск. фил. Всесоюзн. географ. об-ва. М., 1974, с. 48—50.
95. *Неволин Н. В.* Тектоника Устюрта. — Геология нефти, 1958, № 7, с. 12—18.
96. *Неумывакин Ю. К.* Определение характеристики сложности стереорисовки рельефа на основе теории информации. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1967, № 6, с. 121—128.
97. *Новикова Н. М.* Фреатофиты Сахаро-Гобийской пустынной области и их

роль в водном балансе аридных территорий. [Автореф. канд. дис.]. М., 1972. 20 с.

98. *Новые* методы получения информации различными дистанционными приемниками и ее обработка для решения геологических задач. — Реферат. сб. Сер. общ. и регион. геол., геол. картир. ВИЭМС, 1972. 52 с.

99. *Огильви Н. А.* Физические и геологические поля в гидрогеологии. М., Наука, 1974. 159 с.

100. *О взаимосвязях* между разломами фундамента и платформенными локальными поднятиями Устюрта. Л. Г. Кирюхин, В. А. Кулаков, Р. Б. Сапожников, И. Н. Шебцева. Изв. вузов. Геология и разведка, 1973, № 1, с. 33—39.

101. *О возможностях* изучения закономерностей распространения минеральных вод с применением метода многоступенчатой генерализации. Г. С. Вартанян, В. Д. Скарятин, Л. Г. Комогорова, Т. Н. Соустова. — В кн.: Закономерности формирования и распространения минеральных вод СССР. М., 1975, с. 83—88.

102. *Оптические* явления в атмосфере по наблюдениям с пилотируемых космических кораблей. Г. Т. Береговой, А. А. Бузников, К. Я. Кондратьев и др. Л., 1972. 48 с.

103. *Опыт* дешифрирования космофото и телевизионных изображений в гидрогеологических целях (на примере плато Устюрт). В. В. Аристова, С. В. Викторов, М. А. Данилова и др. — Проблемы освоения пустынь. Ашхабад, 1977, № 1, с. 15—29.

104. *Опыт* использования аэроснимков и космических фотографий при оценке условий формирования поверхностного и подземного стока в горных массивах. — Н. А. Огильви, Н. Д. Лебедева, И. В. Диордиев и др. Водные ресурсы. 1976, № 6, с. 127—143.

105. *Опыт* составления ландшафтных и гидрогеологических карт по материалам космических и мелкомасштабных аэросъемок. Е. А. Востокова, И. К. Абросимов, Н. М. Новикова, Н. А. Пшенина. — Тез. докл. V Всесоюз. конф. по темат. картографии. Тбилиси, 1973, с. 56—57.

106. *Основные* направления геолого-геофизических исследований на аэрокосмических полигонах. В. А. Ярмолюк, В. И. Брюханов, В. К. Еремич, Я. Г. Кац. — Изв. вузов. Геология и разведка. 1974, № 12, с. 152—153.

107. *Островский В. Н.* Формирование подземных вод в аридных районах Казахстана. Л., Гидрометеиздат, 1976. 227 с.

108. *Островский В. Н., Хордикайнен М. А.* К методике определения подземного стока в реки в условиях аридной зоны (на примере юго-западной части Центрального Казахстана). — Труды ГГИ. Вып. 213. М., 1974, с. 53—65.

109. *Петрусевич М. Н.* Аэрометоды при геологических исследованиях. М., Госгеолтехиздат, 1962. 407 с.

110. *Попов О. В.* Некоторые элементы анализа взаимодействия речных и подземных вод. — Труды ГГИ, 1970. Вып. 182, с. 5—24.

111. *Ревзон А. Л.* Методика анализа материалов аэрофотосъемки для оценки современной активности карстовых и оползневых процессов. 1975, № 3, Геоморфология, с. 36—42.

112. *Ревзон А. Л.* Индикационная роль карстовых форм при геоморфологическом дешифрировании. Новая сер., Землеведение. Т. 11 (1). М., Изд-во МГУ, 1976, с. 209—213.

113. *Ревзон А. Л.* Особенности индикационного анализа при дешифрировании разномасштабных космофотоснимков для целей гидрогеологии и инженерной геологии. — В кн.: Биogeографические и индикационные исследования. Моск. филиал Географ. об-ва СССР. М., 1977, с. 58—59.
114. *Ревзон А. Л.* Новые данные об экзогенных процессах Устюрта. — Бюл. МОИП. Отд. геол., 1977, № 4, с. 146—147.
115. *Ревзон А. Л., Садов А. В., Семина Н. С.* Опыт использования материалов космофотосъемки для решения гидрогеологических и инженерно-геологических задач на Устюртском космогеологическом полигоне. — В кн.: Использование информации, получаемой из космоса, для решения геологических задач. М., 1976, с. 50—53. (ВИЭМС).
116. *Ревзон А. Л., Садов А. В., Фомин В. М.* Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования на космогеологических полигонах. — Разведка и охрана недр. 1975, № 12, с. 36—42.
117. *Ревзон А. Л., Семина Н. С.* Опыт гидрогеологической и инженерно-геологической интерпретации среднемасштабных космофотоснимков пустыни Устюрт. — Тез. докл. Всесоюз. научн. конф. по комплексному изуч. и освоению пустынных территорий СССР. Секция 1. Ашхабад, Ылым, 1976, с. 29—32.
118. *Роговская Н. В.* Карта зоны аэрации и аспекты ее использования. — В сб.: Закономерности формирования подземных вод. Труды ВСЕГИНГЕО. Вып. 89. М., 1975, с. 113—127.
119. *Роговская Н. В., Соколовский Л. Г.* Обоснование границ артезианских бассейнов платформенных областей. Разведка и охрана недр, 1972, № 5, с. 47—50.
120. *Роговская Н. В., Соколовский Л. Г., Фомин В. М.* Пути дальнейшего развития гидрогеологического картирования. — Разведка и охрана недр, 1976, № 7, с. 43—46.
121. *Садов А. В.* Типологическая классификация ландшафтов для целей инженерно-геологического дешифрирования материалов аэрофотосъемки. — В кн.: Скоростные методы исследований при инженерно-геологических съемках. М., 1969, с. 129—143.
122. *Садов А. В.* Современное состояние и перспективы использования аэроландшафтных методов при инженерно-геологических исследованиях. — В сб. Материалы юбилейных чтений ВСЕГИНГЕО, посвященных 100-летию со дня рождения В. И. Ленина. Труды ВСЕГИНГЕО. М., 1970, с. 78—88.
123. *Садов А. В.* Аэрометоды изучения селей. М., Недра, 1972. 128 с.
124. *Садов А. В.* Проблемы распознавания в инженерно-геологическом дешифрировании аэроснимков. — В кн.: Аэрометоды геогр. исслед. Моск. фил. Всесоюз. географ. об-ва, М., 1972, с. 22—26.
125. *Садов А. В.* Изучение влияния антропогенной деятельности на инженерно-геологические и гидрогеологические условия аэроландшафтным методом. В сб.: Аэрометоды при инженерно-геологическом картировании. Труды ВСЕГИНГЕО. Вып. 85, 1975, с. 43—49.
126. *Садов А. В.* Некоторые теоретические вопросы индикации экзогенных процессов аэроландшафтными методами. — В кн.: Ландшафтная индикация природных процессов. М., 1976, с. 81—88.
127. *Садов А. В.* О рубежах генерализации при дешифрировании экзогенных

- процессов по материалам аэро- и космических съемок. Труды Моск. об-ва испытат. природы. Сер. геол., 1976, № 3, с. 134—135.
128. Садов А. В. Основные задачи и методика гидрогеологических и инженерно-геологических исследований на Устьюртском космогеологическом полигоне. — В кн.: Биогеографические и индикационные исследования. Фил. Моск. географ. об-ва СССР. М., 1977, с. 56—57.
129. Садов А. В., Ревзон А. Л. Аэроландшафтные методы изучения экзогенных процессов. Обзор. Сер. 8, Гидрогеол. и инж. геол., М., ОНТИ ВИЭМС, 1974. 44 с.
130. Садов А. В., Ревзон А. Л. Основные направления инженерно-геологического изучения экзогенных процессов аэроландшафтным методом. — В кн.: Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды. Тема 8. Л., 1976, с. 102—105.
131. Садов А. В., Ревзон А. Л. Результаты использования среднемасштабных космофотоснимков для инженерно-геологического картирования (на примере Центрального Устьюрта). — Изв. вузов, Геология и разведка, 1976, № 11, с. 117—128.
132. Садов А. В., Ревзон А. Л., Чалидзе Ф. Н. Изучение экзогенных процессов в районах крупных водохранилищ аэроландшафтным методом. М., Недра, 1976. 48 с.
133. Садов А. В., Химичев Л. Г. Опыт использования материалов космической съемки для гидрогеологических исследований в горных районах. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1976, № 11, с. 109—117.
134. Сваткова Т. Г. Гидрографическое дешифрирование космических снимков. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1973, № 7, с. 129—132.
135. Сваткова Т. Г. Дешифрирование поверхностных вод по снимкам с орбитальной станции «Салют». — В сб.: Исследование природной среды космическими средствами. Т. 3. М., ВИНТИ, 1974, с. 48—57.
136. Севастьянов В. И. Фотографические эксперименты при многосуточном полете космического корабля. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. Вып. 6, 1972, с. 69—71.
137. Севастьянов В. И., Хаин В. Е., Ярмолюк В. А. Значение космических методов в геологических исследованиях. Изв. вузов. Геология и разведка, 1973, № 7, с. 3—7.
138. Сидоренко А. В. Космос и геология. В кн.: Наука и человечество. М., 1973, с. 99—111.
139. Сидоренко А. В., Хаин В. Е. Основные направления и задачи развития космических методов геологических исследований. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1974, № 12, с. 3—5.
140. Симонов Ю. Г. Региональный геоморфологический анализ. М., Изд-во МГУ, 1972. 249 с.
141. Современное состояние геологических исследований из космоса. — В. Е. Хаин, В. К. Еремин, Я. Г. Кац и др. Изв. вузов. Геология и разведка, 1976, № 12, с. 5—13.
142. Современные технические средства изучения Земли из космоса и зарубежный опыт их использования в геологии. Г. Б. Гонин, И. К. Абросимов, С. М. Богородский, Е. А. Востокова. — Обзор. Сер. Общая и региональная геология, ВИЭМС. М., 1972. 69 с.

143. *Справочник по инженерной геологии*. Изд. 2-е. Ред. М. В. Чуринов. М., Недра, 1974. 407 с.
144. *Старостин В. А., Яковлев Н. А.* Опыт совместного использования материалов космической, высотной и радиолокационной съемок при геологическом дешифрировании. — Реферат сб. ВИЭМС. Новые методы получения информации различными дистанционными приемниками и ее обработки для решения геол. задач. М., 1972, с. 51—53.
145. *Стрельников С. И.* Некоторые вопросы методики использования материалов радиолокационной аэросъемки при геологических исследованиях. — Советская геология, № 3, с. 73—85.
146. *Тектоника Туранской плиты*. М., Наука, 1962. 286 с.
147. *Толстихин Н. И.* Пояса артезианских бассейнов земного шара. — В сб.: Гидрогеология и инженерная геология аридной зоны СССР. Вып. 4. Ташкент, ФАН, 1967, с. 17—23.
148. *Трофимов Д. М., Кац Я. Г., Сонин И. М.* Некоторые вопросы геологической информативности космических снимков. — В сб.: Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. Т. 5. М., 1976, с. 287—291.
149. *Трофимов Д. М.* К проблеме оценки геологической информативности космических снимков. — Экспресс-информация. Сер. Общая и региональная геология; геологическое картирование. М., 1976, № 2. 30 с. ВИЭМС.
150. *Трофимов Д. М.* Многозональная съемка и ее возможности при геологических исследованиях. — Экспресс-информация. ВИЭМС. Сер. общая и региональная геология; геологическое картирование. М., 1976, № 6, с. 1—7.
151. *Урсул А. Д.* Отражение и информация. М., Мысль, 1973. 170 с.
152. *Радиоизотопные методы исследований в инженерной геологии и гидрогеологии*. В. И. Ферронский, А. И. Данилин, В. Т. Дубинчук и др. М., Атомиздат, 1968. 404 с.
153. *Флоренский И. В., Флоренский П. В.* Проявление внутренней геологической структуры Камчатки на космических снимках разного масштаба. — В сб.: Исследование природной среды космическими средствами. Геология и геоморфология. Т. 5. М., ВИНТИ, 1976, с. 72—80.
154. *Хаин В. Е.* Глубинные разломы: основные признаки, принципы классификации и значение в развитии земной коры. — Изв. вузов. Геология и разведка, 1963, № 3, с. 13—29.
155. *Некоторые аспекты дешифрирования космических и телевизионных снимков отдельных регионов Альпийского складчатого пояса и Туранской плиты*. В. Е. Хаин, С. М. Богородский, Я. Г. Кац. Изв. вузов. Геология и разведка, 1974, № 8, с. 3—11.
156. *Хаин В. Е.* Общая геотектоника. М., Недра, 1964. 479 с.
157. *Харин Н. Г.* Дистанционные методы изучения растительности. М., Наука, 1975. 129 с.
158. *Ходжибаев Н. Н.* Естественные потоки грунтовых вод Узбекистана. — В кн.: Гидрогеология и инженерная геология аридной зоны СССР. Вып. 7. Ташкент, ФАН, 1970. 72 с.
159. *Хортон Р. Е.* Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. М., Изд-во иностр. лит., 1948. 159 с.

160. Чарушин Г. В. Естественные рвы Восточной Сибири. Изв. АН СССР. Серия географ., 1968, № 3, с. 95—102.
161. Человек и окружающая среда: дистанционная индикация из космоса. К. Я. Кондратьев, Г. Т. Береговой, А. А. Бузников и др. Л., 1973. 9 с.
162. Чикишев А. Г. Карст Устюрта и Мангышлака. — В сб.: Землеведение. Т. 9. М., Изд-во МГУ, 1971, с. 165—194.
163. Чикишев А. Г. Методы изучения карста. М., Изд-во МГУ, 1973. 89 с.
164. Чубаров В. Н. Питание грунтовых вод пустыни через зону аэрации. М., Недра, 1972. 135 с.
165. Инженерно-геологическая карта СССР масштаба 1 : 2 500 000. (Ред. М. В. Чуринов). ГУГК, 1968.
166. Шилин Б. В., Гусев М. А., Қариженский Е. Я. Об использовании инфракрасной съемки для обнаружения участков избыточного увлажнения и выходов подземных вод. — Советская геология, 1971, № 1, с. 155—160.
167. Шилин Б. В. Дистанционные методы изучения природных ресурсов (обзор материалов третьего, четвертого, шестого симпозиумов по проблеме дистанционного изучения окружающей среды, Минчиган, США). ОНТИ ВИЭМС, Сер. Региональн. геол. и метод. геол. картир. М., 1971. 21 с.
168. Шолохов В. В. Отражение глубинных нарушений в геоморфологическом облике Устюрта. — Нефтегазовая геология и геофизика, 1963, 8, с. 52—54.
169. Яншин А. Л. Геология Северного Приаралья. — Зап. Моск. об-ва испытат. природы. Новая серия. Вып. 15 (19), 1953. 736 с.
170. Abstracts of Symp. on Significant Results obtained from ERTS-1. March 1973. NASA Goddard Space Flight Center. Greenbelt. M. D. March 1973. 1730 p.
171. Andersoni R. R. Wobber E. I. Weltlands Mapping in New Jersey. Photogramm. Eng. 1973, Vol. 39, No. 4, pp. 353—358.
172. Bakolowicz M. Possibilites d'utilisation de photographies aeriennes et d'energistrements scanner et radar—scanner dans l'etude d'un massif Karstigue Ann. speleol., 1973, Vol. 28, No. 1, S. 131—134.
173. Bock P. Assessment of Applications of Space—borue Remote Sensing to Hydrology and Water Resources: An overview „CosPAR Approach Earth Survey Problems Through Use Space Technology“, Berlin, 1974, pp. 171—187.
174. Brawn M. C. Karst hydrogeology and infrared imagery an example. Bull. Geolog. Soc. Amer., 1973, Vol. 83, No. 10, pp. 3151—3154.
175. Chase M. Airborne remote sensing for groundwater studies in prairie environment. Canad. J. Earth. scia., 1969, Vol. 6, No. 4, pp. 112—118.
176. Colwell R. N. Uses and limitation of multispectral remote sensing. — Proc. Fourth Symposium on Remote sensing of environment. 12, 13, 14, Michigan, 1966, pp. 1212—1222.
177. Ecological survey from space. NASA SP—230. Washington, 1970, 230 p.
178. Edson D. T. Automic thematic mapping in the EROS—programme. Survey andmapp. 1973, vol. 33, No. 1, pp. 73—78.
179. Fischer W. A., Moxham R. M. Infrared surveys of Hawaiian volcanoes. Sci. Nov. Vol 146, No. 3645, 1864, pp. 733—742.
180. Hoffer R. M., Yohannsen C. Y. Ecological potentialities in signature analysis. Remote sensing in Ecology. Univ. of Georgia, Athens, 1969, pp. 212—222.

181. *Kock W. R. de.* Geologising from space „South African mining and eng. journ.“, 1966, No. 3824, pp. 1149—1151.
182. *Lyon P. Y. P.* Exploration application of remote sensing technology (image—forming systems). „Mining—Congr. J.“, 1972, Vol. 58, No. 6, pp. 20—26.
183. *Moore W. C.* Detection and delineation of natural disasters: landslides and floods. „Can. Surv.“, 1974, Vol. 28, No. 2, pp. 180—186.
184. *Olson Ch.* Photographic interpretation in the earth science. Ph. Eng., No. 6, 1963, pp. 968—978.
185. *Proc. Symp.* on Earth Resources Technology Satellite—1, September 1972. NASA X—650, pp. 73—10, Jan. 1973, 1213 c.
186. *Rajaonarisona A.* „Photointerpretation de la region de Dabara (Morondava). Rapp. annu. serv. geol. 1969“, Tananarive, c. 111—114.
187. *Regrain R.* Application geomorphologique de la couverture photographique infrarouge: etude de marais a l'estuaire de la Charente. „Bull. geolog. Soc. Franc. fotogr.“, 1971, No. 43, p. 29—34.
188. *Reimold R. I., Linthurst R. A.* Use of remote sensing for mopping wetlands. Fransp. Eng. I. A. S. C. E. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. 1975, Vol. 101, No. 2, pp. 189—198.
189. *Remote sensing of soil moisture with microwave radiometers.* V. Geophys. Res., 1974, Vol. 79, No. 2, pp. 317—323. Autors: Schmutge T., Gloersen P., Wilheit T., Geiger F.
190. *Sabins F., Jr.* Infrared imagery and geologic aspects. „Photogramm. Eng.“, 1967, vol. 33, No. 7, pp. 743—750.
191. *Scanwic J. Y., Weeckstein C.* Possibilities d'utilisation des techniques nouvelles de la teledetection en geologie et en hydrologie. „Teledetect. ressource. natur. J. etud.“, Paris, 1971, p. 189—217.
192. *Weecksteen G.* Les sciences de la Terre et la teledetection spatiale. Annales des Mines. 1974, No. 3, p. 19—36.
193. *Wermund E. G.* Remote sensors for hydrogeologie prospecting in arid terains. „IEEE Trans. Geosci. Electron.“, 1971, vol. 9, No. 3, pp. 120—130.
194. *Wobber F. J., Anderson R. R.* Stimulated ERTS data for coastal management. „Photogram. Eng.“, 1973, Vol. 39, No. 6, pp. 593—596.
195. *Wood Ch. R.* Ground—Water flow. „Photogramm. Eng.“, 1972, Vol. 38, No. 4, pp. 347—352.
196. *Volkman H.* Photographische Aufnahmen ausserhalb der Erdatmosphäre und ihre mögliche Künstige Bedeutung für die Wissenschaft. Naturwissensch. Rundschau, 1969, Jg. 22, Oktober, S. 431—439.

- Автоматическая обработка дешифровочной информации 205
- Автоматическая межпланетная станция 25
- Анализ и синтез дешифровочной информации 43
- Аналитический подход к дешифрованию 46
- Антропогенные сооружения 11
- Аридные области 61
- Артезианские бассейны 11
- Артезианские воды 10
- Аэрогеология 17
- Аэрокосмические исследования 6
- методы 8
- Аэрофотоснимки 9, 19
- Аэрофотосъемка 12, 17
- Взаимосвязь** поверхностных и подземных вод 90
- Влагоперенос 81
- Влажность пород 50
- Водный баланс 90
- Высотные снимки 10
- Геологическая информативность 99
- Геологическое картирование 22
- Геологические объекты 22
- Геолого-генетические комплексы 142
- Геолого-литологические условия 143
- Гидрогеологические исследования 12
- карты 47
- структуры 86
- условия 11
- Гидрогеологическое картирование 11
- районирование 11
- Гидрогеология 9
- Гидродинамика 93
- Гидроиндикация 61
- Глубина залегания подземных вод 79
- Глубинные разломы 72
- Грунтовые воды 80
- Грунтовые потоки 89
- Дешифрование** аналитическое 44
- геоботаническое 46
- геологическое 75
- гидрогеологическое 74
- гидрографическое 55
- индивидуальное 47
- индикационное 64
- инженерно-геологическое 74
- камеральное 52
- полевое 52
- структурно-геоморфологическое 109
- Дешифровочный процесс 41
- Дистанционные методы 17
- Дистанционное изучение природных ресурсов 17
- Естественная генерализация** 14
- Зона аэрации** 81
- Индикационная диагностика** 44
- Индикация 67
- Индикационный анализ 42
- Инженерная геология 9
- Инженерно-геологическая обстановка 11
- Инженерно-геологические исследования 13
- прогнозы 97
- условия 164
- формации горных пород 13
- Инженерно-геологическое картирование 166
- районирование 165

- Интерпретация 40
 Инфильтрация 83
 Инфракрасная съемка 29
 Искусственные спутники 28
- Карст** 174
- Картирование космофотогеологическое 22
 — космофотогидрогеологическое 203
 — космофотоинженерно-геологическое 203
- Ключевые участки 51
 Кольцевые структуры 22
 Компоненты ландшафта 10
 Космическая геология 17
 — съемка 19
 Космическое пространство 9
 Космические исследования 20
 — методы 18
 — средства 19
 Космогеологические полигоны 6
 Космонавтика 17
 Космофотоснимки 17
 Космофотосъемка 19
- Ландшафтно-индикационные** схемы 66
Ландшафтно-индикационный анализ 68
 Ландшафты 67
 Ландшафты-аналоги 53
 Летательные средства 17
 Линеаменты 85
- Минерализация** подземных вод 79
 Многозональная космофотосъемка 26
 Многоспектральная съемка 36
 Многоспектральные сканирующие системы 37
 Морфосистемы 44
 Морфоскульптуры 58
 Морфоструктурный анализ 57
 Морфоструктуры 57
- Наземные исследования** 49
 Обвалы 171
 Оператор-дешифровщик 48
 Оползни 171
 Орбитальные научные станции 17
 Оценка информативности космофотоснимков 103
- Песчаные массивы** 164
 Пилотируемый космический корабль 17
 Питание подземных вод 83
 Поверхностный сток 55
 Подземные воды 9
 Подземный сток 12
 Подспутниковый эксперимент 53
 Покровные отложения 13
 Породы коренной основы 77
 Приближение диагностическое 42
 — масштабное 41
 — прямое 41
 — обратное 42
 Природно-территориальные комплексы 9
 Профилирование комплексное
 — региональное 50
 — локальное 50
- Радиолокационная** съемка 36
 Радиотепловая съемка 35
 Разгрузка подземных вод 94
 Разрешающая способность 19
 Распознавание фотоизображений 40
 Региональный сток 11
 Ресурсы подземных вод 204
- Синтетические** индикационные схемы 64
 Синтетический подход к дешифрированию 44
 Сканирующая электронная аппаратура 37
 Солончаки 123
 Структурно-тектонические схемы 71

Структурно-тектонические элементы 71	элемен-	Уровень генерализации глобальный 14
Структурно-тектонические факторы 73	факто-	— региональный 15
Структурно-технологическая схема работ 51	схема	— локальный 15
Такыры 182		— детальный 17
Тектонические нарушения 133		Уровень грунтовых вод 79
— структуры 139		Фильтрационные свойства 49
Телевизионная съемка 27		Формирование подземных вод 93
Телевизионные снимки 29		Четвертичные отложения 75
Температурные контрасты 30		Экзогенные процессы 95
Тепловое излучение 29		Экономическая эффективность де- шифрирования 99
Теплофизические свойства 32		Экстраполяция 52
Термальные воды 33		Эффект просвечивания 9
Транзит подземных вод 94		

Предисловие	3
Введение	5

Часть I

Гидрогеология и инженерная геология как одно из направлений дистанционного изучения природных ресурсов земли

Глава 1. Роль аэрокосмических методов в гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях	8
Предпосылки внедрения космофотосъемки в гидрогеологии и инженерной геологии	8
Задачи гидрогеологии и инженерной геологии, решаемые с помощью материалов космофотосъемки	11
Уровни генерализации космофотоснимков применительно к решению задач гидрогеологии и инженерной геологии	14
Глава 2. Современное состояние аэрокосмических методов в гидрогеологии и инженерной геологии	17
Космическая фотосъемка	19
Телевизионная съемка	27
Инфракрасная съемка	29
Радиофизическая съемка	34
Многоспектральная съемка	36

Часть II

Теоретико-методические основы гидрогеологической и инженерно-геологической интерпретации космофотоснимков

Глава 3. Принципы и методика аэрокосмической индикации гидрогеологических и инженерно-геологических условий	40
Принципы и приемы дешифрирования космических снимков	40
Комплексирование дешифрирования аэро- и космофотоснимков с наземными исследованиями	49
Структурно-технологическая схема работ	51
Глава 4. Возможности и методические особенности использования материалов космофотосъемки при решении различных задач гидрогеологии и инженерной геологии	55
Аналитическое дешифрирование космофотоснимков	55
Гидрографическая сеть и поверхностный сток	55
Рельеф	57
Растительность	60

Объекты хозяйственной деятельности человека	62
Синтетические индикационные схемы	64
Общие положения	64
Ландшафтно-индикационные схемы	66
Структурно-тектонические схемы	71
Индикационная интерпретация результатов дешифрирования космофотоснимков в гидрогеологических и инженерно-геологических целях	74
Геолого-литологические условия	75
Глубина залегания подземных вод и их минерализация	79
Влагообмен в зоне аэрации	81
Обводненность разрывных нарушений	85
Оценка взаимосвязи поверхностных и подземных вод	90
Гидродинамика подземных вод	93
Экзогенные геологические процессы	95
Пути оценки информативности космофотоснимков и экономической эффективности их использования в практике гидрогеологических и инженерно-геологических исследований	98

Часть III

Опыт применения материалов космофото- и телевизионной съемок при решении гидрогеологических и инженерно-геологических задач (на примере Устьюртского космогеологического полигона)

Глава 5. Результаты дешифрирования телевизионных изображений глобального уровня генерализации с целью мелкомасштабного гидрогеологического и инженерно-геологического районирования	105
Общие положения	105
Дешифрирование многозональных телевизионных изображений	106
Структурно-геоморфологическое дешифрирование	109
Гидрогеологическая и инженерно-геологическая интерпретация результатов структурно-геоморфологического дешифрирования	111
Глава 6. Результаты комплексного гидрогеологического и инженерно-геологического картирования с использованием космофотоснимков регионального и локального уровней генерализации	122
Аналитическое дешифрирование космофотоснимков	124
Дешифрирование гидрографической сети и поверхностного стока	124
Геоморфологическое дешифрирование	126
Синтетические индикационные схемы	134
Ландшафтно-индикационная схема	134
Структурно-тектоническая схема	138
Гидрогеологическая и инженерно-геологическая интерпретация индикационных схем	141
Горные породы	142
Условия формирования и гидродинамика подземных вод	145
Глубины залегания грунтовых вод	154
Минерализация грунтовых вод	155

Влагообмен в зоне аэрации песчаных массивов	160
Инженерно-геологические условия	164
Новые данные о некоторых экзогенных процессах	174
Оценка информативности гидрогеологических и инженерно-геологических карт-схем, составленных по материалам космофотосъемки	192
Перспективы дальнейшего развития аэрокосмических методов в гидрогеологии и инженерной геологии	202
Список литературы	206
Предметный указатель	218

Алексей Васильевич Садов
Андрей Львович Ревзон

**АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ
МЕТОДЫ В ГИДРОГЕОЛОГИИ
И ИНЖЕНЕРНОЙ
ГЕОЛОГИИ**

Редактор издательства **А. И. Панова**
Переплет художника **А. Е. Григорьева**
Художественный редактор **Е. Л. Юрковская**
Технический редактор **В. В. Соколова**
Корректор **Т. М. Столярова**

Сдано в набор 18.07.78. Подписано в печать 05.03.79. Т-06008. Формат 60×90^{1/16}.
Бумага № 1. Гарнитура литер. Печать высокая. Печ. л. 14,0. Уч.-изд. л. 15,30.
Тираж 2700 экз. Заказ 583/6777—2.
Цена 95 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19
Ленинградская картографическая фабрика
объединения «Аэрогеология»

Убоп

2938

НЕДРА