

АЭРОЛАНДШАФТНО-  
ИНДИКАЦИОННЫЕ  
МЕТОДЫ  
ПРИ РЕГИОНАЛЬНЫХ  
ИНЖЕНЕРНО-  
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЯХ

АЭРОЛАНДШАФТНО-  
ИНДИКАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ  
ПРИ РЕГИОНАЛЬНЫХ  
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЯХ

Под редакцией С. В. Викторова, А. В. ~~а~~дова



МОСКВА «НЕДРА» 1981

УДК 528.711.1(203) : 624.131.1

Аэrolандшафтно-индикационные методы при региональных инженерно-геологических исследованиях/Под ред. С. В. Викторова, А. В. Садова.— М.: Недра, 1981.— 203 с.

Изложены теоретические основы использования аэrolандшафтно-индикационных методов в инженерной геологии, развиты представления о связях, обуславливающих возможность индикации статики и динамики инженерно-геологических компонентов природной среды. Обобщен опыт авторов по применению аэrolандшафтных исследований в основных крупных природных типологических группах ландшафтов СССР.

Рассмотрены главнейшие аэrolандшафтные индикаторы, охарактеризована изменчивость их индикационного значения. Проанализирована общая схема методики аэrolандшафтной индикации и отдельные ее проблемы. Подробно освещена практика аэrolандшафтной индикации при решении инженерно-геологических задач в разных природных условиях, а также индикация последствий деятельности человека.

Для инженеров-геологов, гидрогеологов и мелиораторов.

Табл. 32, ил. 41, список лит.— 50 назв.

Рецензент — канд. геол.-минер. наук С. М. Богородский (Аэрогеология).

Авторы: С. В. Викторов, А. В. Садов, Р. Н. Гельман, И. В. Кузьмина, М. Т. Илюшина, Н. П. Назарова, А. Л. Ревzon, Л. З. Сискеевич, В. М. Валях.

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из важных форм научно-технического прогресса является совершенствование инженерно-геологических исследований, которые в настоящее время получили новый аспект: исследование регионального управления геологической средой [41]. Среди методов, используемых инженерной геологией, значительное место занимает ландшафтно-индикационный, применяемый в тесной связи с анализом аэрофотоснимков и космофотоснимков [31, 37]. Он вошел как определенный элемент в официально утвержденные методики по инженерно-геологическим съемкам [30, 31] и находит приложение в самых разнообразных природных условиях. Однако большой географический диапазон применения его выявил значительное региональное варьирование как способов, так и конкретных средств индикации в разных частях СССР. Наиболее актуальным становится учет региональной специфики индикаторов в связи с использованием космофотоснимков (КФС), где небольшое количество их охватывает целый обособленный регион. Между тем до настоящего времени отсутствуют попытки создания обобщающих работ, где региональная специфика индикации была бы рассмотрена во всем многообразии.

Лаборатория аэрометодов ВСЕГИНГЕО в течение многих лет проводила аэrolандшафтно-индикационные исследования в различных регионах по единой методике. Однако, несмотря на совершенствование в практическом отношении, ее теоретические основы оставались более или менее постоянными.

Настоящая монография является до некоторой степени обобщающим трудом. При ее подготовке авторы использовали результаты личных наблюдений, а также данные, полученные из разнообразных публикаций.

Основная задача работы — вооружить исследователя, применяющего аэrolандшафтную индикацию в инженерной геологии, знанием региональных индикаторов инженерно-геологических условий и специфики методики исследований. Однако использование аэrolандшафтной индикации невозможно без знания ее основ, поэтому в монографии кратко рассматриваются теория и история индикации, а также общие черты методики.

В работе описаны лишь те индикаторы, которые могут быть распознаны на АФС и КФС или замечены при аэровизуальных наблюдениях. Мелкие по размерам, малозаметные индикаторы, которые можно узнать лишь при наземных исследованиях, не рассматриваются.

А 20806—142  
043(01)—81 подписьное БЗ-27-122—1980 1904060000

© Издательство «Недра», 1981

# Глава I

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АЭРОЛАНДШАФТНОЙ ИНДИКАЦИИ

Аэроландшафтной индикацией называется особая система исследований, с помощью которой по внешнему облику территории и ее изображению на аэрофотоснимке (АФС), космофотоснимке (КФС) или на материалах других дистанционных съемок определяются ее геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические и почвенные условия. Она является приложением к решению задач, стоящих перед различными науками о Земле, в том числе перед гидрогеологией и инженерной геологией, данных, существующих в индикационном ландшафтovedении. Аэроландшафтная индикация не имеет своей целью заменить комплекс обычных методов инженерно-геологических и гидрогеологических исследований, а лишь призвана помочь их более целесообразному и экономическому использованию, облегчить исследования и повысить их эффективность. Поэтому она имеет хотя и важное, но вспомогательное значение. Сформировавшись в области контакта геологических и географических наук, она требует использования некоторых понятий, сложившихся в современной географии. Основные из них кратко излагаются ниже.

Индикационное ландшафтovedение составляет один из прикладных разделов учения о ландшафтной дифференциации, или ландшафтovedении. В основе последнего лежит представление о существовании природно-территориальных комплексов (ПТК), которые могут быть объединены в те или иные типологические единицы. ПТК — сложная природная система, которая включает все природные явления и процессы, протекающие в соответствующем участке биосфера. Они называются компонентами ПТК. Главными из них являются литогенная основа ПТК (т. е. горные породы со всеми их тектоническими, геохимическими и прочими особенностями и чертами строения). Литогенная основа, климат и деятельность человека являются ведущими компонентами ПТК, в значительной мере определяющими формирование того или иного рельефа, различных почв, растительных сообществ и прочих компонентов.

Все компоненты ПТК находятся в теснейшей взаимосвязи. Это та «генетическая, вековечная и всегда закономерная связь, какая существует между силами, телами и явлениями, между мертвой и живой природой, между растительным, животным и минеральным царством ...», о которой писал В. В. Докучаев (1949 г.).

Деление компонентов на ведущие и зависимые до некоторой степени условно. Ведущие компоненты ПТК, хотя и определяют его развитие, но подвергаются известному воздействию со сторо-

ны других компонентов, среди которых особенно активна растительность. Взаимодействия между компонентами ПТК многообразны. Они осуществляются путем процессов энергомассопереноса между различными частями ПТК.

С точки зрения доступности для исследований и для аэрофотографирования все компоненты ПТК могут быть разделены на физиономические (легкодоступные наблюдению и аэрофотографированию) и деципиентные (труднодоступные визуальному наблюдению и аэрофотографированию).

Главнейшими физиономическими компонентами (ПТК, мало измененных человеком) являются рельеф и растительность. Литогенная основа, климат, а по большей части и почва обычно оказываются деципиентными. К числу физиономических компонентов часто относятся гидрологические и антропогенные черты внешнего облика ПТК, а для некоторых типов ПТК также и почвы (если они обнажены). Взаимосвязь компонентов позволяет поставить задачу определения деципиентных ПТК по физиономическим. Ее решает индикационное ландшафтovedение. Представление о возможности индикации деципиентных компонентов ПТК по его внешнему виду можно найти в трудах многих географов [9, 14, 18, 19]. Оно сложилось под влиянием идей классиков современной географии и приводится как исходное положение ландшафтной индикации во всех основных индикационных работах.

Таким образом, индикационное ландшафтovedение может быть определено как раздел ландшафтovedения, изучающий теорию и практику использования внешнего облика природно-территориальных комплексов и их аэрофотоизображения для выявления тех компонентов их, которые скрыты от непосредственного визуального наблюдения и различных видов аэрофотографирования. В индикационном ландшафтovedении выработалась некоторая система понятий и терминов, которая кратко излагается ниже. Физиономические компоненты ПТК выступают в качестве частных ландшафтных индикаторов (показателей); деципиентные компоненты становятся объектами индикации, или индикатами. Индикаторы разнообразны. Они могут быть геоморфологическими (элементы рельефа), геоботаническими (растения и растительные сообщества), антропогенными (сооружения и различные внешние черты ПТК, созданные человеком), гидрологическими (водоемы). Широко распространены комплексные индикаторы, представляющие собой сочетание нескольких частных. Чаще всего в качестве комплексных индикаторов выступают поверхностные ярусы (эктоярусы) ПТК. Представление о них сложилось под влиянием рассмотрения ПТК как ярусной системы [9]. Рельеф, растительность, поверхность водоемов, антропогенные сооружения, а также не покрытые растениями участки почвы и горных пород, которые отражаются на аэрофотоснимках и видны при визуальных наблюдениях, образуют верхний структурный ярус ПТК, называемый эктоярусом. Эктоярус — это внешний облик ПТК, наблюдаемый нами непосредственно. Любое изменение, возникшее в глубинных яру-

Таблица 1

Шкала достоверности индикаторов (по С. В. Викторову,  
Е. А. Востоковой и Д. Д. Вышивкину)

Число случаев (% от общего числа исследованных участков ПТК)		Степень достоверности
Индикатор и индикатор встречаются совместно	Индикатор встречен без индикатора	
100	—	Наивысшая (абсолютный индикатор)
Более 90	Менее 10	Высокая (верный индикатор)
От 75 до 90	От 10 до 25	Достаточная (удовлетворительный индикатор)
От 60 до 75	От 25 до 40	Низкая (сомнительный индикатор)
Менее 60	Свыше 40	Ничтожная (индикация невозможна)

индикатор сохраняет определенное значение лишь в пределах одной или нескольких физико-географических областей. Локальные индикаторы обладают устойчивой связью с индикатором лишь в каком-либо узком физико-географическом районе.

Как в литературных, так и в фондовых источниках обобщенные сведения об индикаторах и индикатах обычно представляются в виде таблиц, носящих название индикационных схем. Полезным пособием для получения индикационной информации служат различные справочники геоботанического, ландшафтного или специального индикационного характера.

Важнейшим средством аэrolандшафтной индикации являются аэрометоды. Им она в значительной мере обязана своим возникновением. Как на АФС, так и на КФС видны и частные, и комплексные индикаторы. Первые видны чаще всего как отдельные формы рельефа или растительные сообщества, вторые — как закономерные сочетания этих двух групп индикаторов друг с другом. Эти сочетания являются по существу эктоярусами различных ПТК [7]. В зависимости от масштаба АФС или КФС на них видны эктоярусы разных таксономических единиц ПТК. Само понятие ПТК безразноговое. Оно может прилагаться как к очень крупным взаимосвязанным природным системам, так и к очень мелким.

Для индикационного дешифрирования АФС и КФС необходимо знакомство с таксономией ПТК, которую мы предполагаем кратко рассмотреть ниже. К сожалению, единой таксономической системы ПТК не существует, и ученые имеют несколько разные взгляды на ее структуру. Наибольшее значение при аэrolандшафтной индикации инженерно-геологических условий имеет таксономическая система Н. А. Солнцева.

Если рассматривать систему Н. А. Солнцева по восходящим ступеням, то она слагается из трех основных звеньев — фация, уроцище, ландшафт (причем собственно таксономической едини-

са, в силу взаимосвязанности всех систем природно-территориального комплекса, будет неизбежно отражено эктоярусом. При этом обычно наиболее консервативным, медленно изменяющимся компонентом эктояруса является рельеф, более лабильным — почва и растительность. Последняя наиболее быстро и чутко реагирует на эволюцию природно-территориального комплекса.

Согласно изложенным представлениям о ярусной структуре ПТК, в каждом из них мы можем различать, с одной стороны, эктоярус (являющийся совокупностью индикаторов), а с другой — глубинные ярусы (являющиеся совокупностью индикаторов). Таким образом, ПТК заключает в себе и то, что индицируется, и то, что используется для индикации. Сам же он в целом индикационно нейтрален, т. е. не имеет значения индикатора. Поэтому встречающиеся иногда формулировки, утверждающие, что те или иные условия индицируются определенным ПТК, должны быть признаны научно неправильными, так как индикатором служит не ПТК, а лишь его эктоярус, индицирующий литогенную основу того же ПТК. Объекты индикации (индикаты) многочисленны. Из инженерно-геологических условий объектами ландшафтной индикации наиболее часто оказываются те или иные горные породы (особенно отложения, образующие рыхлый чехол, прикрывающий коренные породы) с их разнообразными особенностями (гранулометрическим составом, засоленностью, гипсоносностью, ожелезненностью). Объектом индикации может быть трещиноватость пород. Очень большое внимание уделяется в настоящее время индикации различных экзогенных процессов [4, 28, 36, 37]. В связи с инженерно-геологическими исследованиями возникает необходимость индицировать и грунтовые воды. За последнее время в связи с активизацией исследований по охране природной среды аэrolандшафтная индикация применяется для распознавания различных антропогенных процессов [11].

Одна из важнейших проблем аэrolандшафтной индикации — оценка достоверности индикаторов. Единый общепринятый подход к подобной оценке отсутствует.

Существуют разнообразные шкалы достоверности. Простейшая из них приведена в табл. 1. Этой шкалой мы и пользуемся в настоящей работе.

По характеру взаимосвязи индиката и индикатора среди последних различаются прямые и косвенные. Прямыми индикаторами называются те, которые имеют непосредственную связь с индикатором, а косвенными — те, которые связаны с индикатором через какое-либо промежуточное звено. Прямые индикаторы обычно отличаются постоянством своего значения, у косвенных же оно подвержено сильным колебаниям.

По пространственной устойчивости своего значения индикаторы могут быть разделены на панареальные, региональные и локальные. Панареальными именуются те, которые сохраняют устойчивое индикационное значение на всей той территории, в пределах которой они встречаются (т. е. своего ареала). Региональный

цей является лишь последний, а две первые — его частями). Кратко характеризуя все три перечисленных звена, можно дать им такие определения: 1) фация — это ПТК, на всем протяжении которого сохраняются единая литология материнских почвообразующих пород, единство формы микрорельефа (или части формы мезорельефа), одна почвенная разность и одно растительное сообщество (фитоценоз); 2) урочище — закономерное повторяющееся чередование определенных фаций, объединенное единством мезоформы рельефа и единством литологии материнских пород при наличии ряда, образованного повторением микроформ с сопряженным сочетанием почвенных разностей и растительных сообществ; 3) ландшафт — закономерное сочетание повторяющихся, генетически взаимосвязанных урочищ, объединенное единством стратиграфо-генетического комплекса, образующего его литогенную основу. На территориях со значительным расчленением рельефа выделяется еще одна морфологическая часть ландшафта (располагающаяся по соподчиненности между ним и урочищем), характеризующаяся единообразной степенью расчлененности; она называется местностью.

Фации, урочища, местности и ландшафты, существующие на определенной территории, образуют ее пространственную ландшафтную структуру.

К познанию пространственной ландшафтной структуры обычно идут через ландшафтное дешифрирование, т. е. через выделение контуров ПТК на АФС и КФС [40]. Если оно при этом связывается с раскрытием децилиентных компонентов ПТК через их эктоярусы, то его можно определить как ландшафтно-индикационное.

Наблюдая любую территорию на АФС или КФС, мы видим самое разнообразное сочетание участков разных размеров (от точек и мелких пятен до больших контуров), отличающихся конфигурацией, фототоном, характером размещения, степенью резкости изображения и прочими морфологическими характеристиками. Все это пестрое содержание АФС и КФС может быть определено как аэрофоторисунок [8, 25, 45].

Произведя дешифрирование ПТК и проведя границы их, мы получаем на снимке на фоне аэрофоторисунка — ландшафтный рисунок, различные способы анализа которого имеют определенное значение для индикации.

Для дешифрирования фаций применяются крупномасштабные АФС (порядка 1 : 10 000 и крупнее). Урочища дешифрируются большей частью в пределах масштабов 1 : 10 000—1 : 25 000, а ландшафты — на снимках более мелких масштабов. Соответственно контуры ландшафтного рисунка будут при соответствующих масштабах АФС отвечать то фациям, то урочищам, то ландшафтам.

Таксономия ПТК, предложенная Н. А. Солнцевым и его учениками (1963 г.), не является единственной. Не пытаясь рассмотреть все существующие таксономические системы, кратко охарактеризуем те из них, которые получили применение при ландшафтно-индикационных исследованиях. Так, при индикационном изу-

чении болот Е. А. Галкина (1972 г.) и ее ученики в ряде работ именовали часть болота, имеющую ранг фации, — микроландшафтом, урочища — мезоландшафтом, а болотные системы — макроландшафтами. В индикационных исследованиях, связанных с мелиорацией, распространение получила система таксономии ПТК, разработанная Н. А. Гвоздецким [9, 19]. Этот исследователь придерживается типологической трактовки ландшафта. Ландшафт в его понимании — это «определенного характера территория или местность». Вся площадь распространения ландшафта представляет собой ландшафтную типологическую единицу, а любая площадь, составляющая ее часть, является конкретным участком ландшафта. Таксономическая система классификации ландшафтов имеет [19] следующие ступени (в нисходящем порядке): класс — тип — подтип — группа — вид ландшафта. Таким образом, ландшафт, по мнению Н. А. Гвоздецкого, есть общее типологическое понятие, классифицируемое в дальнейшем по степени сложности его градаций. Внутри разных таксономических ступеней ландшафтов могут быть выделены мелкие элементарные ПТК, рассматриваемые также в типологическом плане и называемые микроландшафтами (они по объему близки к урочищам Н. А. Солнцева). Микроландшафты состоят в свою очередь из элементарных ландшафтов, которые могут быть сходны с фациями.

Следует указать, что некоторые специалисты по аэrolандшафтной индикации [7] отходят от построений как Н. А. Солнцева, так и Н. А. Гвоздецкого, применяя понятия «ландшафт, тип и подтип ландшафта» в широком, но очень неопределенном смысле и не придавая им четкого таксономического значения. Это затрудняет унификацию системы основных представлений и терминов в области индикационных исследований.

Ландшафтно-индикационное дешифрирование требует значительного внимания к физиономическим особенностям изучаемых территорий. В зависимости от факторов, определяющих физиономичность, С. В. Викторов [9] предложил разделять территории на: 1) орофизиономичные, внешний облик которых определяется рельефом; 2) фитофизиономичные, определяемые растительностью; 3) педофизиономичные, в которых физиономична почва (этот тип физиономичности редок, и к нему относятся главным образом солончаки), и 4) территории с комплексной физиономичностью, где облик местности определяется сочетанием всех перечисленных выше факторов. Позже были выделены еще территории с антропогенной физиономичностью и гидрофизиономичные территории (например, озерковые комплексы на верховых болотах или поймы с многочисленными старицами).

Индикаторами могут являться не только отдельные компоненты ПТК и их свойства, но и протекающие в них процессы.

Индикаторами в этом случае выступают эктоярусы ландшафтно-генетических рядов. Ландшафтно-генетическими рядами называются ряды, образованные ПТК, расположенными в пространстве в той последовательности, в какой эти комплексы сменяют

друг друга во времени. Обычными примерами их служат ряды: 1) возникающие в водоемах по мере их пересыхания или заболачивания; 2) олуговения на осушенных болотах; 3) выветривания на обнажениях горных пород и пр.

Возможность индикации процесса по ландшафтно-генетическому ряду обосновывается тем, что ряд сам является результатом процесса и развивается по мере его хода. Эта связь процесса и соответствующего ряда особенно наглядно выступает при анализе различных рядов растительных сообществ, формирующихся в ходе генетически обусловленных смен растительности во времени. Поэтому ряды растительных сообществ, порожденные влиянием тех или иных процессов, очень широко применяются для индикации последних. Эти ряды именуются обычно эколого-генетическими и представляют собой один из частных вариантов ландшафтно-генетических рядов, возникающих в силу большой индикационной и физиономической роли растительности. Существуют и генетические пространственные ряды форм рельефа, которые также могут использоваться для индикации процессов. Однако наиболее часто ряды фитоценозов и форм рельефа в тесной связи друг с другом создают и ландшафтно-генетический ряд, являющийся обычно самым полноценным индикатором процесса.

В ландшафтно-генетическом ряду каждый входящий в него ПТК является пространственным выражением определенного сочетания условий в ходе процесса. Другими словами, каждый ПТК отражает определенную стадию процесса. Если сменяющие друг друга стадии процесса существенно отличаются друг от друга по тем или иным условиям, то это скажется на контрастности сменяющих друг друга ПТК, а следовательно, и на резкости их границ, и на многих других внешних особенностях ландшафтно-генетического ряда. Таким образом, появляется возможность использовать морфологические черты ландшафтно-генетического ряда для индикации хода процесса, создавшего данный ряд, применяя для этого простейшие морфологические приемы.

Любой ландшафтно-генетический ряд на местности и на аэрофотоснимке представляется состоящим из физиономически различных отрезков. Чаще всего этим отрезкам отвечают какие-то ранги ПТК. Отрезки называются элементами ряда. После разделения ряда на эти элементы можно произвести их подсчет, измерить протяженность, выяснить степень их морфологического сходства друг с другом, оценить резкость границ между отдельными элементами. Представляя любой процесс как ряд непрерывных (иногда скачкообразных) изменений природной среды, следует предположить, что каждой стадии процесса будет отвечать определенный элемент ряда. Поэтому ряды, построенные из большого числа элементов, будут отвечать процессам со сложным стадийным расчленением, а ряды с малым числом элементов — процессам с несложной стадийной структурой.

При индикации процессов и в особенности при индикационном дешифрировании целесообразно различать группы процессов по

характеру их проявления в пространстве. Простейшим делением, которого мы будем придерживаться в настоящей работе, будет классификация, предложенная С. В. Викторовым [11]. Он выделяет очаговые процессы (имеющие локализованную исходную ограниченную площадь — очаг), эквипотенциальные (не имеющие одного четкого очага, а проявляющиеся равномерно и одновременно на обширной площади, охватывая ее всю сплошь) и диффузные (возникающие одновременно во многих мелких разобщенных очагах). В зависимости от характера дальнейшего пространственного развития процесса некоторые исходные типы могут быть классифицированы более дробно. Так, очаговые процессы могут быть разделены на ореольные (когда в ходе развития процесса происходит постепенное нарастание площади исходного очага, превращающегося в сплошной «ореол распространения» процесса) и вторично-очаговые (когда вокруг исходного очага возникают разобщенные вторичные). Может иметь место и физиономическая конвергенция процессов: так, например, слияние диффузных очагов в ходе их роста может создать видимость эквипотенциального процесса. Существуют и более сложные классификации, разработанные применительно к отдельным крупным группам природных процессов, в частности к экзогенным [37].

Более или менее общеизвестным является то, что методика аэроландшафтных и индикационных исследований для инженерно-геологических целей слагается из следующих основных разделов: 1) сбор, систематизация и сравнительное сопоставление литературных и фоновых материалов, как текстовых, так и картографических; 2) предварительное дешифрирование аэрофотоматериалов; 3) предварительное определение ключевых участков, опорных и контрольных маршрутов при возможно более широком применении количественных методов; 4) аэровизуальная или наземная рекогносцировка территории работ с окончательной фиксацией положения вышеупомянутых участков и маршрутов; 5) наземные работы по полевому дешифрированию индикаторов и изучению индикаторов с применением количественных методов; 6) проведение контрольных маршрутов; 7) камеральная обработка собранных материалов с завершающим выделением индикаторов; 8) заключительное дешифрирование и 9) оформление итогов работ в виде ландшафтно-индикационной карты и соответствующего пояснительного текста. Методика эта описана в ряде работ [9, 30, 31]. Достаточно подробно освещены и отдельные, наиболее важные звенья ее: выбор ключевых участков и количественные его основы [31], детализация описания аэрофотоизображений индикаторов [8], способы их выявления [9] и экстраполяции [9, 16, 29], распознавание ландшафтно-генетических рядов, индицирующих процессы [10, 37].

Развитие идей ландшафтной индикации и практика ее применения в инженерной геологии могут быть разделены на следующие периоды: 1) период (до 1945 г.) разобщенных случайных наблюдений за связью внешних признаков местности с литологическими

и почвенно-грунтовыми условиями; 2) период преобладания геоботанической индикации (1945—1962 гг.); 3) период преимущественного развития аэrolандшафтной индикации статических ситуаций (1963—1966 гг.); 4) период возникновения аэrolандшафтной индикации процессов (1967—1972 гг.); 5) период сочетания аэrolандшафтной индикации с индикационной интерпретацией материалов различных новых видов дистанционных съемок при использовании их не только для познания естественных закономерностей, но и для разработки мероприятий по охране окружающей среды: он начался в 1973 г. и продолжается до настоящего времени.

Значение аэrolандшафтной индикации при инженерно-геологических исследованиях довольно велико. В первую очередь следует указать, что она вошла в комплекс методов, используемых при государственной инженерно-геологической съемке [31]. Однако этим не исчерпывается ее роль. Она находит широкое применение при линейных инженерно-геологических изысканиях, при дорожном строительстве, в особенности на труднопроходимых территориях — песках, болотах, солончаках. Большое распространение аэrolандшафтная индикация получила при инженерно-геологических и гидрогеологических съемках, производимых в связи с мелиоративным изысканием, а также при изучении экзогенных процессов, создающих угрозу объектам народного хозяйства [36, 37, 39].

Кроме того, она применяется и при крупномасштабных исследованиях, направленных на изыскание строительных площадок.

Очень большие перспективы открываются для использования аэrolандшафтной индикации при решении тех инженерно-геологических и гидрогеологических вопросов, которые возникают в связи с охраной окружающей среды. Таким образом, возникает широкий круг задач, при решении которых аэrolандшафтная индикация может принести определенную пользу. Однако применение ее сдерживается большим разнообразием природной обстановки регионов, в которых ведутся ландшафтно-индикационные исследования, малой изученностью региональных индикационных схем инженерно-геологических условий, отсутствием критического рассмотрения и проверки тех индикаторов, которые уже выявлены, а также расширением их круга за счет новых, ранее неизвестных. Частичное решение этих вопросов авторы пытаются дать в следующих главах настоящей работы.

## Глава II

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ МЕТОДОВ ПРИ АЭРОЛАНДШАФТНОЙ ИНДИКАЦИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

#### ПОЛУЧЕНИЕ ИСХОДНЫХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЯ НА АЭРОФОТОСНИМКАХ

При описании методики аэrolандшафтно-индикационных исследований (гл. I) мы указывали на целесообразность применения количественных методов при работах на ключевых участках. К сожалению, в настоящее время нет обобщающих работ, в которых были бы охарактеризованы эти методы. Между тем значение их велико и, вероятно, именно в применении их следует видеть один из основных путей повышения точности аэrolандшафтных исследований. Поэтому необходимо хотя бы кратко охарактеризовать если не все, то, с одной стороны, наиболее распространенные и проверенные, а с другой — пусть и малоизвестные, но перспективные методы. Не ставя перед собой задачи рассмотрения всех возможных количественных приемов, мы останавливаемся в настоящей главе лишь на тех, которые получили применение в региональных аэrolандшафтно-индикационных исследованиях для инженерно-геологических целей, производимых коллективом авторов настоящей монографии в разных районах СССР. Сюда входят как различные способы получения исходных количественных характеристик по данным измерения плановых и перспективных аэрофотоснимков, так и специальные методы анализа ландшафтного рисунка. Мы не останавливаемся на элементарных сведениях по дешифрированию, предполагая знакомство читателя с ними в объеме общеизвестных руководств по фотограмметрии.

Аэрофотоснимки являются объективным исходным материалом для получения количественных характеристик сфотографированного объекта. Способы измерения снимков и получение на основании этих измерений необходимой информации являются предметом фотограмметрии. В данном разделе изложены основные принципы фотограмметрических измерений и их математической обработки для целей региональных аэrolандшафтно-индикационных исследований в инженерной геологии.

Обычно для обработки используются аэроснимки имеющихся на данную территорию залетов или же заказывается новая аэросъемка. При детальном исследовании относительно небольших по площади локальных участков целесообразным, а иногда и един-

ствлено возможным способом получения крупномасштабных аэрофотоснимков является съемка, проводимая самими исследователями. В связи с этим представляет интерес перспективная аэрофотосъемка, в число положительных сторон которой входит и возможность съемки с любого самолета или вертолета.

**Измерение снимков. Фотограмметрическая модель.** Положим, что точка местности  $A$  изобразилась на двух смежных снимках в точках  $a$  и  $a'$  (рис. 1). Положение этих точек на снимках можно выразить в системах координат  $oxy$  и  $o'x'y'$ . Началом системы координат снимка является точка  $o$  — след перпендикуляра, опущенного на его плоскость из центра проекции, т. е. из узловой точки объектива. Положение точки  $o$  на снимке фиксируется координатными метками на его краях. Длина перпендикуляра  $So$  называется фокусным расстоянием снимка (или аэрофотокамеры). Это величина постоянная, она является важнейшим параметром аэрофотосъемки.

Разности  $p = x - x'$  и  $q = y - y'$  называются соответственно продольным и поперечным параллаксами точки  $A$ . Расстояние между центрами проекции двух соседних снимков ( $S$  и  $S'$ ) называется базисом фотографирования. Направление базиса определяет пространственную фотограмметрическую систему координат  $SXYZ$ . Началом этой системы является центр проекции левого снимка, ось  $X$  совмещена с базисом фотографирования, ось  $Z$  лежит в плоскости, включающей в себя базис и направление  $So$  левого снимка.

Измерение координат  $x, y, p, q$  изображения точки на снимках производится на стереоскопических измерительных приборах. Приборы эти (различные по конструкции) основаны на одном общем принципе, сущность которого заключается в следующем. Положим, что два смежных снимка, составляющие стереопару, могут перемещаться одновременно, параллельно координатным осям  $x$  и  $y$  относительно неподвижной системы отсчета. Кроме того, правый снимок может перемещаться вдоль тех же направлений относительно левого. Одновременное перемещение обоих снимков относительно неподвижной системы отсчета и смещения правого снимка относительно левого фиксируются специальными шкалами. Над снимками помещена неподвижная (рис. 2) система измерительных марок  $mm'$ . Снимки и измерительные марки наблюдаются через бинокулярную оптическую систему (стереоскоп). Наблюдаемая картина представляет собой объемное изображение местности (стереомодель) и объемное изображение измерительной марки на фоне стереомодели.

Если левая марка  $m$  и правая  $m'$  проектируются на изображение одной и той же точки на левом и правом снимках, то это воспринимается как касание пространственной маркой поверхности стереомодели в данной точке.

Положим, что, перемещая оба снимка одновременно вдоль  $x$  и  $y$ , мы совместим измерительную марку  $m$  с какой-либо точкой снимка  $a$ , а перемещая правый снимок относительно левого, сов-

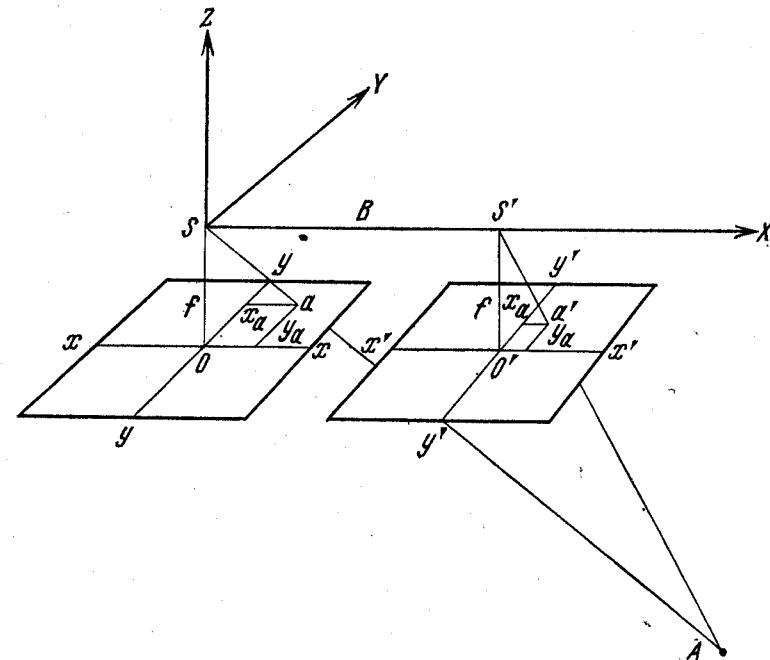


Рис. 1. Изображение точки местности  $A$  на двух аэроснимках стереопары

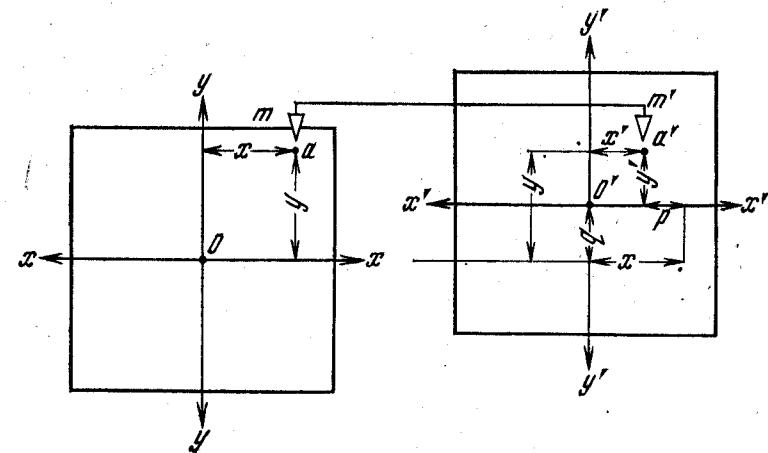


Рис. 2. Общий принцип стереоскопических измерений по аэроснимкам

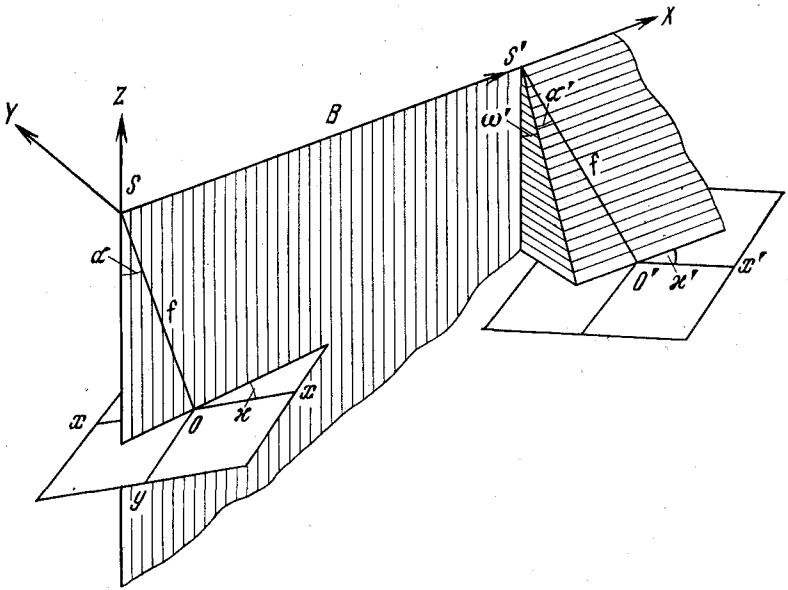


Рис. 3. Фотограмметрическая модель пространственного положения точек, координаты которых измерены на двух снимках стереопары

местим марку  $m'$  с изображением той же точки на правом снимке  $a'$ . Наблюдатель будет это воспринимать как касание пространственной измерительной маркой поверхности модели в точке  $A$ . Отсчеты по шкалам, фиксирующим общее смещение снимков, дают величины  $x$  и  $y$ , а отсчеты по шкалам, фиксирующим смещение правого снимка относительно левого, — величины  $p$  и  $q$ . Конструктивно приборы часто оформляются таким образом, что вдоль оси  $x$  смещаются снимки, а вдоль оси  $y$  — система марок, но общий принцип остается тем же.

Наиболее точным стереоизмерительным прибором является стереокомпаратор. Величины  $x$  и  $y$  на нем измеряются со средними погрешностями порядка 0,02 мм, а точность измерения  $p$  и  $q$  около 0,01 мм.

Стереокомпаратор — прибор стационарного типа. Помимо него имеются и более простые малогабаритные приборы, предназначенные для упрощенных измерений. О них будет сказано в дальнейшем.

Построить фотограмметрическую модель — означает определить взаимное пространственное положение группы точек, плоские координаты которых измерены на двух снимках стереопары (рис. 3). Общий принцип построения модели основан на известных зависимостях между измеренными координатами изображения точки на снимках и пространственными фотограмметрическими координата-

ми этой точки. Зависимости эти выражаются следующими формулами:

$$X = \frac{B}{p} x; \quad Y = \frac{B}{p} y; \quad Z = \frac{B}{p} f, \quad (1)$$

где  $X, Y, Z$  — пространственные фотограмметрические координаты точки;  $x, y, p = x - x'$  — координаты точки на снимках стереопары;  $B$  — базис фотографирования;  $f$  — фокусное расстояние снимка.

Формулы (1), однако, могут быть применены только при условии строгого ориентирования снимков относительно системы  $SXYZ$ : оси их координатных систем  $fxu$  и  $f'x'u'$  должны быть параллельны соответственно осям  $ZXY$ .

В реальных условиях аэрофотосъемки вследствие угловых колебаний самолета и изменений высоты полета эта параллельность не выдерживается. Возникающие при этом углы показаны на рис. 3. Пять углов ( $\alpha, \omega$  для левого снимка и  $\alpha', \omega'$ ,  $\omega'$  для правого) определяют положение координатных систем обоих снимков относительно системы  $SXYZ$  и называются элементами взаимного ориентирования. Эти элементы могут быть определены при измерении снимков. Для этого используется уравнение зависимости между элементами взаимного ориентирования и вертикальным параллаксом, которое имеет следующий вид:

$$-\frac{xy'}{f} \alpha + \frac{x'y}{f} \alpha' + \left( f + \frac{yy'}{f} \right) \omega' - x\omega + x'\omega' = q. \quad (2)$$

Измерив  $x, y, x', y, q$  в пяти или более точках, составив и решив систему из пяти или более уравнений (2), найдем значения  $\alpha, \alpha', \omega, \omega', \omega'$ .

Дальнейшее основано на преобразовании систем координат. Согласно аналитической геометрии, некоторую систему координат  $X'Y'Z'$  можно преобразовать в систему  $XYZ$  по формуле

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где  $a_1 b_1 c_1$  — направляющие косинусы, т. е. косинусы углов, определяющие взаимное положение осей координатных систем.

В нашем случае направляющие косинусы — функции углов  $\alpha, \omega, \alpha', \omega'$ . Зная эти углы для обоих снимков, можно на основании формулы (3) произвести такое преобразование координатных систем снимков, когда они будут параллельны системе  $SXYZ$ . Преобразованные значения плоских координат точки на снимке представляются в формулы (1), при этом получают пространственные фотограмметрические координаты данной точки.

В принципе модель построена, однако масштаб ее, согласно формулам (1), зависит от принятого значения  $B$ ; поскольку точное значение  $B$  неизвестно, то и масштаб будет более или менее приближенный или произвольный. Кроме того, как это следует из определения системы  $SXYZ$ , наклон плоскости левого снимка и

Таблица 2

Масштаб фотографирования	Средняя квадратическая погрешность планового положения, м	Средняя квадратическая погрешность по высоте, м			
		<i>f</i> , мм			
		200	140	100	70
1:20 000	±1,0	—	±0,5	±0,4	±0,3
1:15 000	0,75	±0,4	0,4	0,3	0,3
1:10 000	0,5	0,4	0,25	0,25	0,2
1:5 000	0,25	0,2	0,2	0,2	0,15

Устройство универсальных приборов и приемы работы на них подробно описаны в специальной литературе.

Точность построения модели зависит от масштаба фотографирования и фокусного расстояния аэрофотокамеры (при равных размерах кадра). Согласно исследованиям ЦНИИГАиК, средние квадратические погрешности определения планового положения точек и их высот на универсальных приборах можно представить в виде табл. 2.

Точность аналитического метода при определении планового положения точек выше примерно на 30%.

По координатам точек фотограмметрической модели могут быть получены количественные показатели исследуемого объекта. Например, взяв разности координат двух точек  $\Delta X = X_1 - X_2$ ;  $\Delta Y = Y_1 - Y_2$ ;  $\Delta Z = Z_1 - Z_2$ , можно вычислить:

а) превышение точки 1 над точкой 2

$$h = \Delta Z; \quad (4)$$

б) длину линии 1—2

$$L = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}; \quad (5)$$

в) проекцию той же линии на горизонтальную плоскость

$$L_0 = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}; \quad (6)$$

г) наклон линии относительно горизонтальной плоскости

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{\Delta Z}{\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}}; \quad (7)$$

д) азимут линии относительно оси *Y*

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta X}{\Delta Y}, \quad (8)$$

При определении площади какого-либо контура определяются координаты точек, расположенных по его границам в местах характерных изгибов. Затем по координатам *X* и *Y* контур наносится на планшет и площадь измеряется планиметром. Полученная величина является площадью проекции контура на горизонталь-

наклон базиса фотографирования относительно уровенной поверхности приводят к таким же наклонам всей модели. Для масштабирования и горизонтизации модели в практике фотограмметрических измерений обычно используются опорные геодезические точки. Это точки (не менее трех), входящие в модель, геодезические координаты которых известны из наземных геодезических измерений или взяты с карты. Анализируя расхождения фотограмметрических и геодезических координат на этих точках, можно вычислить коэффициент масштабирования модели, углы наклона ее относительно горизонтальной плоскости и поворот фотограмметрической системы координат относительно геодезической. После этого производится масштабирование модели и на основании формулы (3) преобразование ее координатной системы в геодезическую.

Такой общий принцип строгого построения фотограмметрической модели реализуется двумя путями: а) аналитическим способом и б) обработкой снимков на универсальных приборах. В первом случае измерение снимков производится на высокоточном приборе — стереокомпарателе, а математическая обработка результатов измерений — на ЭВМ. Во втором случае обработка снимков ведется на универсальном оптико-механическом приборе, который выполняет одновременно измерения, математическую обработку и графические построения.

Из наиболее широко применяемых у нас в стране универсальных приборов можно назвать отечественные: стереопроектор (СПР), и стереограф (СД). Из зарубежных — стереометрограф, топокарт, стереопланиграф (производство «К. Цейсс Иена», ГДР).

Достоинством универсальных приборов является возможность составления на них детальных графических планов путем непрерывного сканирования снимков. Недостаток — высокая стоимость сложных оптико-механических систем и некоторые ограничения, налагаемые конструкцией прибора на параметры снимков. Например, угловые элементы взаимного ориентирования не должны превышать 3—4°.

Достоинством аналитического метода является возможность обрабатывать снимки практически с любыми элементами ориентирования, относительная простота измерительных приборов, несколько большая точность по сравнению с универсальным методом. Недостаток — дискретная форма получаемых результатов, необходимость считываия со шкал приборов, подготовка промежуточной информации для ЭВМ и связанная с этим возможность грубых погрешностей\*.

Аналитическому способу следует отдать предпочтение, если измерения ведутся в пределах относительно небольшого количества точек, а универсальному — при составлении детальных графических документов.

\* Новейшие марки стереокомпараторов имеют автоматическую регистрацию отсчетов.

ную плоскость. Для получения площади его поверхности нужно разделить полученную величину на  $\cos v$ , где  $v$  — средний наклон поверхности. При использовании универсального прибора контур вычерчивается на планшете в процессе обводки его измерительной маркой по наблюдаемой стереоскопической модели.

Фотограмметрический метод может быть применен и для изучения хода экзогенных геологических процессов. Для этого используются материалы двух или более аэрофотосъемок разных лет одного и того же участка, где наблюдаются интенсивные процессы. Например, оползневые подвижки, рост эрозионной сети, отступание берегов и т. д.

На участке строятся две или более модели, отражающие его состояние на момент каждого из залетов. В каждую модель включаются несколько (не менее трех) точек, относящихся к местным неподвижным предметам и опознавшихся на всех разновременных снимках. Такие точки называются связующими. Координаты этих точек получаются при построении одной из моделей, принятой за исходную.

При построении всех остальных моделей связующие точки используются как опорные. Таким образом, обеспечивается построение всех моделей в единой системе координат и их сравнение. Ход процесса выявляется по изменению контура (расширение эрозионных форм, отступание берегов, увеличение площади оползня и т. д.), а также по изменению координат идентичных точек (оползневые смещения). Имеются опытные работы по выявлению таким способом динамики бугров пучения в зоне вечной мерзлоты.

Таким образом, при строгом построении фотограмметрической модели появляется возможность получения практически всех количественных характеристик, доступных наземным геодезическим методам, с точностью, во многих случаях сопоставимой с точностью этих методов. Однако построение модели требует специального стационарного оборудования и квалифицированных исполнителей. По этой причине широкое распространение получили упрощенные методы фотограмметрической обработки, более ограниченные в своих возможностях, но использующие более простые средства.

Некоторые количественные характеристики могут быть получены путем упрощенной обработки снимков, без строгого построения фотограмметрической модели и без учета искажений снимков за углы наклона. Такие способы широко применяются ввиду их простоты и производительности, но при этом всегда следует иметь в виду ограниченные возможности этих способов, во избежание грубых методических погрешностей при их применении.

Упрощенные способы измерения аэроснимков можно подразделить на измерения одиночного снимка и на измерения стереопары. В последнем случае при обработке используются стереоэффект и стереоскопические измерения. Ниже приводятся краткие характе-

ристики стереоизмерительных приборов, применяемых для этой цели.

Имеется несколько конструкций стереоизмерительных приборов упрощенного типа, предназначенных в основном для измерения продольных параллаксов. Уступая по точности стереокомпаратуру, они значительно дешевле и компактнее последнего и могут применяться непосредственно в полевых геологических партиях. К сожалению, приборы эти выпускаются отечественной промышленностью пока еще в недостаточном количестве.

Дешевый стереоскоп ДС-4. Прибор предназначен для измерительного дешифрирования снимков и снабжен устройством для измерения продольных и поперечных параллаксов. Увеличение наблюдательной системы благодаря сменным бинокулярам может быть установлено  $0,78\times$ ;  $3,6\times$ ;  $7,2\times$ . На приборе могут измеряться снимки форматов  $18\times 18$  и  $30\times 30$  см.

Стереометр топографический СТД-2. Этот прибор предназначен для рисовки рельефа в горизонталях непосредственно на аэроснимках. В связи с этим он снабжен специальными устройствами (корректорами), устраняющими влияние угловых элементов взаимного ориентирования снимков. Если на стереопаре могут быть опознаны (например, с топокарты) точки, высоты которых известны, то, используя корректоры, можно ориентировать снимки таким образом, чтобы взаимные превышения могли быть измерены между точками, произвольно расположеными в пределах стереопары. Необходимое расположение высотных опорных точек — четыре по углам стереопары и хотя бы одна примерно в центре. Прибор может быть использован как измерительный стереоскоп. Характерной особенностью стереометра являются измерительные марки, выполненные в виде нитей, протянутых над снимком. Прибор предназначен для снимков формата  $18\times 18$  см. Увеличение наблюдательной системы составляет  $2,5\times$ .

Геологический стереометр ГС-4. Модификация СТД-2 предназначена для геологических целей. Прибор представляет собой насадку к СТД-2, позволяющую определить элементы залегания пластов по аэроснимкам. Съемные точечные марки дают возможность измерять продольные и поперечные параллаксы.

Стереоскоп с параллаксометром ЗС. Прибор выпускается фирмой «К. Цейсс Иена» (ГДР) и состоит из обычного стереоскопа и не связанного с ним параллаксометра. Он является наиболее простым и портативным из всех измерительных стереоскопов, но вместе с тем наименее удобным и малопроизводительным. Стереоскоп имеет откидывающуюся бинокулярную насадку с увеличением  $3,5\times$ . Непосредственно на закрепленные под стереоскопом снимки укладывается параллаксометр — устройство с точечными марками для измерения разностей продольных параллаксов. Использование прибора целесообразно при небольшом числе точек, измеряемых в пределах стереопары.

Стереопантометр К. Цейсс (ГДР). В основе своей прибор представляет собой тот же стереоскоп ЗС с параллаксо-

Таблица 3

Предельные превышения над средней плоскостью аэроснимка

$f$ , мм	Масштаб аэроснимка			
	1:5 000	1:10 000	1:25 000	1:50 000
70	5	10	25	50
100	7	14	36	71
140	10	20	50	—
200	14	29	72	—

Таблица 4

Величины искажений снимка за наклон

$f$ , мм	$r$ , мм				
	15	30	45	60	75
70	0,0	0,2	0,3	0,6	0,9
100	0	0,1	0,2	0,4	0,6
140	0	0,1	0,2	0,3	0,5
200	0	0	0,1	0,2	0,3

могут быть в 2—3 раза больше, но и они, как правило, не превышают 1 мм.

При измерениях снимка необходимо знать его масштаб. Если значение масштаба неизвестно или нуждается в проверке, то производится его определение путем сравнения расстояний, измеренных между идентичными контурами на снимке  $l$  и на карте  $l_k$ . Знаменатель масштаба снимка вычисляется по формуле

$$M = M_k \frac{l_k}{l}, \quad (10)$$

где  $M_k$  — знаменатель масштаба карты.

Наибольшая точность получается при определении масштаба как среднего, по двум отрезкам, направление которых близко к диагоналям снимка.

Если по снимку требуется определить длину линии, то искомая величина вычисляется по формуле

$$L = l \cdot M \cdot 10^{-3}, \quad (11)$$

где  $L$  — длина линии (в м);  $l$  — измеренная на снимке длина (в мм).

метром, но для удобства измерений эти два основных узла соединены посредством каретки и направляющих, обеспечивающих их взаимные продольное и поперечное перемещения без угловых разворотов. Это сближает стереопантометр с ДС-4. Приемы работы на обоих приборах примерно одинаковы. Основным отличием стереопантометра является то, что измеряемые снимки укладываются на стекло, имеющее снизу подсветку. Это позволяет производить измерения по негативам и, в частности, по неразрезанному аэрофильму.

Радиалпантограф РП-3. Основное назначение прибора — перенос отдешифрованных контуров со снимка на план. Принцип его работы основан на плоскостной фотограмметрической защечке. Наблюдатель обводит контур крестообразной маркой, образованной пересечением двух радиальных направлений из центров снимков. На планшете в заданном масштабе вычерчивается проекция контура на горизонтальную плоскость. Вычерченный план практически свободен от искажений снимка за рельеф и за углы наклона. Прибор рассчитан на работу со снимками формата до  $30 \times 30$  см. Увеличение наблюдательной системы составляет  $3,5\times$ . В отличие от всех ранее описанных РП-3 — стационарный прибор (масса 60 кг), несмотря на то что он относится и к числу приборов, использующих упрощенные методы.

Измерения по одиночному аэроснимку производятся, как правило, для равнинных и слабовхолмленных районов. Причина этого — значительные искажения, вносимые рельефом в положение контуров на снимке, и затруднения при их учете. Следовательно, нужно заранее знать при каком рельефе влияние его не будет превышать допустимых значений. Смещение точки за рельеф происходит по радиальному направлению от центра (или к центру) снимка и выражается формулой

$$\Delta r = \frac{10^3 r}{Mf} h, \quad (9)$$

где  $\Delta r$  — смещение за рельеф (в мм);  $M$  — знаменатель среднего масштаба снимка;  $r$  — расстояние точки от центра снимка (в мм);  $h$  — превышение точки над средней плоскостью местности, изображенной на снимке (в м);  $f$  — фокусное расстояние снимка (в мм).

Если принять, например, допустимое значение  $\Delta r = 1$  мм, а радиус полезной площади снимка  $r_{\max} = 70$  мм, то на основании формулы (9) можно составить таблицу предельных превышений над средней плоскостью в пределах снимка, при которых влиянием рельефа можно пренебречь (табл. 3).

Кроме рельефа искажение снимка возникает из-за его наклона в момент фотографирования. Ввиду того, что современная аэрофотосъемка выполняется, как правило, с гиростабилизирующей установкой, искажения эти сравнительно невелики.

В работе А. Е. Михайлова и И. С. Рамм (1975 г.) приводится таблица величин искажений снимка (в мм) за наклон при наличии гиростабилизации (табл. 4). Без гиростабилизации эти искажения

Для определения площади какого-либо контура можно воспользоваться формулой

$$S = S_{\text{сн}} \cdot M^2 \cdot 10^{-4}, \quad (12)$$

где  $S$  — площадь (в  $\text{м}^2$ );  $S_{\text{сн}}$  — измеренная на снимке площадь, (в  $\text{см}^2$ ).

В целях уменьшения искажений за рельеф для измерений следует выбирать снимок, на котором объект располагался бы возможно ближе к центральной части.

Если по аэроснимку необходимо произвести угловые измерения, то следует помнить, что надежно измеряются только те углы, вершина которых расположена вблизи центра снимка. При плоскогоравнинной местности максимальное расстояние от центра снимка до вершины измеряемого угла можно подсчитать по формуле

$$r_{\max} = f \frac{d\phi}{\epsilon}, \quad (13)$$

где  $d\phi$  — допустимое искажение угла;  $\epsilon$  — угол наклона снимка.

Приняв, например,  $f = 100$  мм,  $\epsilon = 2^\circ$ ,  $d\phi = 0,25^\circ$ , получим  $r_{\max} = 12,5$  мм.

Однако, при наличии даже незначительной высоты рельефа внецентренное положение вершины измеренного угла может привести к заметным ошибкам. Строго говоря, вершина угла в этом случае должна находиться в точке надира на расстоянии от центра снимка, равном  $ftg\epsilon$ , но ввиду малости  $\epsilon$  при упрощенной обработке точку надира заменяют обычно главной точкой (центром) снимка. Искажение направления линии на снимке выражается следующей приближенной зависимостью:

$$d\phi = \frac{r'}{f} \nu, \quad (14)$$

где  $\nu$  — угол наклона этой линии на местности;  $r'$  — длина перпендикуляра, опущенного на линию из центра снимка. Например, при уклоне  $5^\circ$ ,  $r' = 10$  мм,  $f = 100$  мм искажение будет  $d\phi = 0,5^\circ$ . Следовательно, при измерении углов по снимкам рельефной местности нельзя допускать расстояние вершины угла от центра снимка более 2—3 мм.

В отличие от измерений по одиночному снимку измерения по стереопаре дают возможность получать не только двух-, но и трехмерные характеристики объекта. Кроме того, стереоизмерения позволяют учитывать искажения снимка за рельеф, а значит, применять упрощенный способ измерений и для горных районов. Однако необходимо иметь в виду, что, поскольку искажения снимков за углы наклона не учитываются, измерять превышения можно только между близко расположенными точками, искажения для которых практически одинаковы. Это означает, что можно измерять высоту обрыва, дерева, глубину эрозионного вреза, но нельзя измерить превышение между точками, расположенными на значительных (более 3—5 мм в масштабе снимка) расстояниях. Это возможно только при строгом построении фотограмметрической модели способами, о которых говорилось выше.

При использовании упрощенной схемы стереофотограмметрических измерений аэроснимков основными параметрами являются фокусное расстояние снимка и высота полета над уровнем моря или какой-либо другой начальной плоскостью. Фокусное расстояние берется из паспорта залета, а высота полета определяется с использованием карты масштаба 1 : 25 000—1 : 50 000 района залета.

**Определение высоты полета.** Для определения высоты полета берутся несколько последовательно идущих снимков (маршрут). Из них выбираются 2—3, на которых наилучшим образом можно опознать контуры, отображенные на карте. На снимке и на карте опознается пара контуров 1 и 2 (рис. 4), расположенных по возможности на максимальном расстоянии друг от друга. В положение одного из этих контуров на снимке (например, 2) вводится поправка за его превышение под контуром 1. Поправка вычисляется по формуле

$$\Delta r = r_2 \frac{A_2 - A_1}{H'}, \quad (15)$$

где  $r_2$  — расстояние контура от центра снимка;  $A_1$ ,  $A_2$  — отметки контуров, взятые с карты;  $H'$  — приближенная высота фотографирования над данным участком.

Положительная величина  $\Delta r$  откладывается по направлению к центру снимка, отрицательная — от центра. Таким образом получают исправленное положение контура 2'. Вычисление высоты полета (над уровнем моря) производится по формуле

$$H_0 = f \frac{l_k}{l_0} M_k + A_1, \quad (16)$$

где  $l_k$  — расстояние 1—2, измеренное по карте;  $l_0$  — расстояние 1—2, измеренное по снимку;  $M_k$  — знаменатель масштаба карты;  $f$  — фокусное расстояние.

Произведя такие измерения на двух-трех снимках в пределах маршрута, получают несколько значений  $H_0$ , из которых берется среднее. Погрешность определения высоты полета не должна превышать величины  $(H_0 - A_1) : 100$ .

После определения высоты полета могут быть вычислены высоты фотографирования для всех намеченных к измерению стереопар данного маршрута.

Для этого в пределах стереопары (желательно ближе к средней ее части) опознается какая-либо точка, высота которой  $A_n$

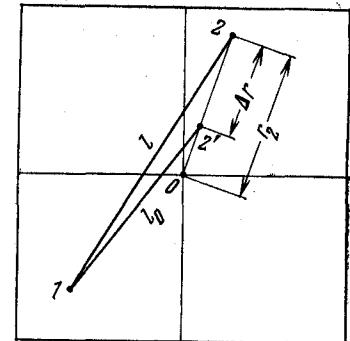


Рис. 4. Определение высоты полета по аэроснимкам

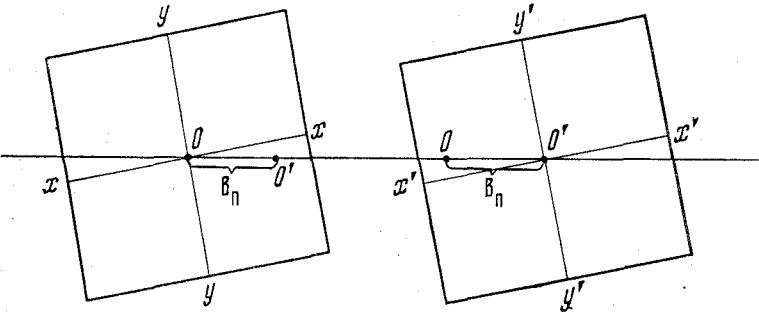


Рис. 5. Измерение продольных параллаксов

может быть определена по карте. Относительно этой (начальной) точки вычисляется высота фотографирования для данной пары:

$$H_n = H_0 - A_n. \quad (17)$$

**Измерение продольных параллаксов.** Продольный параллакс — основная измеряемая величина при стереоскопических измерениях. Определение его было дано в начале главы.

Колебания параллакса в пределах стереопары отображают изменение рельефа, а разность параллаксов двух точек характеризует их взаимное превышение.

Перед началом стереоскопических измерений на обоих снимках стереопары накалываются главные точки о и о', лежащие на пересечении координатных осей снимка. Затем главная точка левого снимка опознается и накалывается на правый, а главная точка правого — на левый снимок (рис. 5). Через эти точки проводятся начальные направления. При измерениях снимки должны быть ориентированы так, чтобы их начальные направления лежали на одной прямой. В таком положении снимки закрепляются.

Измерение параллаксов заключается в стереоскопическом наведении измерительной марки на все намеченные точки, а также на главные и начальную точки снимков. Отчеты по шкале параллактического винта записываются. Величины параллаксов вычисляются по формуле

$$p_i = \bar{p}_i - c, \quad (18)$$

где  $\bar{p}$  — отсчет по шкале параллактического винта,  $c$  — постоянная величина, вычисляемая как разность

$$c = \bar{p}_0 - b_n = \bar{p}_0' - b_n, \quad (19)$$

где  $\bar{p}_0$ ,  $\bar{p}_0'$  — отсчеты при стереоскопическом наведении соответственно на главную точку левого и на главную точку правого снимка;  $b_n$ ,  $b_n'$  — расстояния оо' измеряемые на левом и правом снимках.

Эти величины называются соответственно базисом левого и правого аэроснимков.

**Измерение превышений.** Взаимное превышение двух близко расположенных точек, например подножие и верх обрыва (соответственно точки 1 и 2), выражается известной формулой превышений:

$$h = H_1 \frac{p_2 - p_1}{p_2}, \quad (20)$$

где  $H_1$  — высота фотографирования над точкой 1;  $p_1$ ,  $p_2$  — параллаксы точек 1 и 2. Поскольку высота фотографирования над точкой 1, как правило, неизвестна, а определена для начальной точки, удобнее пользоваться для вычислений преобразованной формулой:

$$h = H_n \frac{p_2 - p_1}{p_2} \cdot \frac{p_n}{p_1}, \quad (21)$$

где  $H_n$  — высота фотографирования над начальной точкой, вычисляемая — по формуле (17);  $p_n$  — параллакс начальной точки.

При небольших колебаниях превышений в пределах стереопары формула (21) может быть упрощена и будет иметь вид

$$h = H \frac{p_2 - p_1}{p}, \quad (22)$$

где  $H$  и  $p$  — средние значения высот фотографирования и параллаксов в пределах стереопары. Формулу (22) можно применять вместо формулы (21) в тех случаях, когда колебания параллаксов в пределах стереопары между их максимальными и минимальными значениями не превышают величины

$$(p_{\max} - p_{\min}) \leq \frac{p}{\Delta p} m_{\Delta p}, \quad (23)$$

где  $m_{\Delta p}$  — средняя квадратическая погрешность измерения разности параллаксов;  $\Delta p$  — измеряемая разность параллаксов. Так, например, при  $p=65$  мм,  $\Delta p=0,5$  мм,  $m_{\Delta p}=0,02$  мм получим, что  $p_{\max} - p_{\min}=2,6$  мм, т. е. формулой (22) в данном случае можно пользоваться при колебаниях параллаксов, не превышающих 2,6 мм.

Погрешность определения превышений вследствие погрешностей измерений разности параллаксов выражается формулой

$$m_h = \frac{H}{p} m_{\Delta p}. \quad (24)$$

Например, при  $H=1500$  м,  $p=65$  мм,  $m_{\Delta p}=0,02$  мм погрешность будет  $m_h=0,5$  м. Фактически она может быть несколько большей вследствие погрешностей при определении  $H$  и влияния углов наклона снимков.

**Измерение уклонов** местности по аэроснимкам может производиться как для коротких, так и для длинных (несколько сантиметров в масштабе снимка) отрезков. Точность определения уклонов лимитируется главным образом величинами углов наклона

снимков. При использовании гиростабилизации погрешность определения уклонов может быть принята равной  $1-1,5^\circ$ .

Для определения уклона линии 1—2 необходимо измерить параллаксы точек 1 и 2. Затем в положение точки 2 (верхней) вводится поправка за превышение ее над точкой 1 (см. рис. 4). Поправка вычисляется по формуле

$$\Delta r = r_2 \frac{p_2 - p_1}{p_2}, \quad (25)$$

где  $r_2$  — расстояние точки 2 от главной точки снимка.

Поправка откладывается на снимке по радиусу  $r$  в направлении главной точки (если  $p_2 - p_1$  имеет знак +). Расстояние  $1-2' = l_0$  — это длина отрезка 1—2, приведенная к горизонтальной плоскости. Уклон линии вычисляется по формуле

$$\operatorname{tg} v = \frac{f}{l_0} \cdot \frac{p_2 - p_1}{p_2}. \quad (26)$$

**Измерение длин** отрезков по снимкам может производиться с помощью масштабной линейки или (если отрезки малы и требуется высокая точность) посредством параллактического винта. В последнем случае снимок поворачивается так, чтобы измеряемый отрезок располагался вдоль оси винта.

При измерении длин могут встретиться два варианта: 1) отрезок расположен примерно в одной горизонтальной плоскости, 2) отрезок имеет значительный наклон относительно горизонта.

В первом случае длина вычисляется по формуле

$$L = l \frac{H_n}{f} \cdot \frac{p_n}{p}, \quad (27)$$

где  $l$  — отрезок, измеренный по снимку;  $p$  — среднее значение параллакса для концов отрезка.

Во втором случае порядок работы тот же, что и при определении уклона: 1) измеряются параллаксы нижнего — 1 и верхнего — 2 концов отрезка; 2) по формуле (25) вычисляется поправка за наклон линии и значение ее откладывается на снимке (см. рис. 4); 3) измеряется горизонтальное проложение линии  $l_0$  и по формуле (26) вычисляется угол наклона  $v$ ; 4) вычисляется длина наклонной линии по формуле

$$L = l_0 \frac{H_n}{f \cos v} \cdot \frac{p_n}{p_1}. \quad (28)$$

Формулой (27) можно пользоваться вместо формулы (28) в тех случаях, когда абсолютное значение величины  $(p_2 - p_1)$ :  $l$  не превышает допустимой относительной погрешности измерения линии.

**Измерение площадей** должно производиться с учетом искажений очертания контура, вносимых рельефом. Это можно сделать двумя путями: а) введением поправок за рельеф, б) методом плоскостной фототриангуляции.

В первом случае по периферии контура, площадь которого должна быть измерена, отмечают на снимке точки, расположенные

на местах характерных поворотов. Для всех этих точек измеряются параллаксы. Параллакс измеряется также и для начальной точки. Затем данный контур копируется на лист прозрачной бумаги, на которую наносится и главная точка снимка (рис. 6). Одна из точек контура (лучше верхняя) принимается за нулевую и относительно нее в положение всех остальных точек вводятся поправки за рельеф, вычисляемые по формуле

$$\Delta r_i = r_i \frac{p_i - p_0}{p_i}, \quad (29)$$

где  $p_i$  — параллакс  $i$ -й точки;  $p_0$  — параллакс нулевой точки. Поправки откладываются на бумаге по радиусу  $r$  в направлении от главной точки (если величина  $\Delta r$  отрицательна). Полученные исправленные положения точек соединяются, образуя очертания контура, исправленного за рельеф, т. е. проекцию его на горизонтальную плоскость. Если контур имеет сложную конфигурацию, то для того, чтобы не измерять большого числа точек, измеряется только несколько основных. В них и вводят поправки за рельеф, а остальные точки дорисовываются путем интерполяции.

Полученная фигура есть проекция измеряемого контура на горизонтальную плоскость в масштабе нулевой точки. Площадь ее измеряется планиметром или с помощью палетки. Площадь в натуре вычисляется по формуле

$$S = S_{\text{чн}} \left( \frac{H_n p_n}{fp_0} \right)^2, \quad (30)$$

где  $S$  — площадь в натуре ( $\text{в м}^2$ );  $S_{\text{чн}}$  — площадь измеренная планиметром ( $\text{в см}^2$ );  $H_n$  — высота фотографирования над начальной точкой ( $\text{в м}$ );  $f$  — фокусное расстояние ( $\text{в см}$ ).

Та же задача может быть решена методом плоскостной фототриангуляции. Для этого характерные, идентичные точки контура накалываются на обоих снимках стереопары. Затем на кальку копируется положение этих точек, главных точек снимков и на-

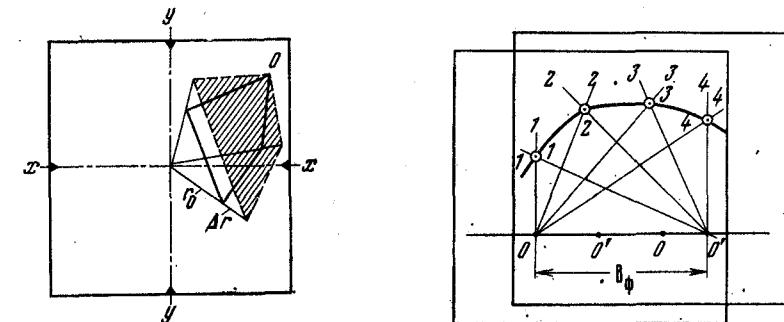


Рис. 6. Измерение площадей по аэро-снимкам с учетом искажений за рельеф

Рис. 7. Измерение площадей по аэро-снимкам методом плоскостной фототриангуляции

чальных направлений. Изготавливают две кальки для левого и правого снимков. Проводят радиальные направления из главных точек через все остальные. Затем, накладывая с перекрытием кальки друг на друга и совмещая начальные направления (рис. 7), в точках пересечения идентичных лучей находят исправленные положения точек контура (1—4). Расстояние  $oo' = b_\phi$  может быть установлено произвольно (в пределах размеров калек). При увеличении расстояния  $b_\phi$  укрупняется масштаб изображения контура. Знаменатель этого масштаба может быть вычислен по формуле

$$M_\phi = \frac{H_n p_n}{f b_\phi}. \quad (31)$$

С помощью радиал-пантографа, принцип работы которого основан на плоскостной фототриангуляции, может быть получен план контура. Следует иметь в виду, что в зоне, где лучи пересекаются под углом, близким к  $180^\circ$ , плоскостная фототриангуляция невозможна.

Описанными способами определяется площадь проекции контура на горизонтальную плоскость. При необходимости определить площадь наклонного контура полученное значение  $S$  делится на  $\cos v$ . Величина  $v$  вычисляется по формуле (26), где под  $p_1$  и  $p_2$  подразумеваются параллаксы нижней и верхней точек контура, а  $l_0$  — расстояние на снимке между этими точками, исправленное за рельеф.

#### ПЕРСПЕКТИВНАЯ АЭРОФОТОСЪЕМКА

Перспективной принято называть аэрофотосъемку, проводимую при значительном отклонении направления фотографирования от вертикали. Обычно это отклонение бывает порядка  $30$ — $60^\circ$ , но может доходить и до  $90^\circ$ . Применяется этот вид аэрофотосъемки в основном при фотографировании кругих горных склонов и высоких береговых обрывов. Контуры скальных обнажений, обвалов и осыпей на перспективных снимках изображаются более близкими к своей истинной конфигурации (рис. 8). Большой эффект дает перспективное аэрофотографирование при съемке берегов. В этом случае изображение берегового обрыва получается в наиболее выгодном ракурсе (рис. 9). При этом значительно увеличивается ширина снимаемой полосы берега. На плановом аэроснимке изображение берегового обрыва неизбежно связано с захватом широкой полосы воды (не менее 50% площади снимка), что снижает точность построения фотограмметрической модели. На перспективных снимках этот недостаток устраняется (рис. 10).

Имеется еще одно обстоятельство, привлекающее внимание к перспективной аэросъемке: эта съемка не требует специального фотолюка и может проводиться практически с любого вертолета или легкого самолета через бортовой иллюминатор. Это имеет большое значение при проведении аэрофотографирования отдельных локальных участков силами самих исследователей, так как



Рис. 8. Перспективное изображение обвально-осыпного склона



Рис. 9. Перспективное изображение берегового обрыва

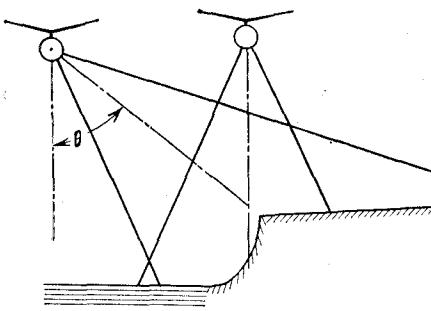


Рис. 10. Соотношение изображения береговой полосы на перспективном и плановом аэроснимках

снимков производятся на основе тех же геометрических зависимостей и уравнений, что и при обработке плановых снимков. Единственным, но существенным отличием в методике является ограничение возможности использования универсальных фотограмметрических приборов и упрощенных способов обработки. Основным является аналитический метод, сущность которого кратко изложена выше.

Для перспективной аэрофотосъемки используются те же фотокамеры, что и для плановой, но при крупномасштабной съемке с вертолета оптимальными можно считать аппараты с фокусным расстоянием 100 мм. Для более длиннофокусных начинает сказываться влияние угловых колебаний и вибраций (угловые смазы изображения), для короткофокусных — уменьшение масштаба снимков. При аэросъемках, проводимых геологическими организациями, в последние годы получил широкое распространение малоформатный аэрофотоаппарат А-39 с фокусным расстоянием 10 см и форматом кадра 7×8 см. Ввиду малых габаритов и простоты управления этот АФА удобен и для перспективной аэросъемки. В качестве носителя в горных районах чаще всего применяется вертолет. Для съемки проявлений экзогенных геологических процессов фотографирование ведется обычно с расстояния 500—700 м, что соответствует масштабам фотографирования 1 : 5000—1 : 7000.

**Стереофотограмметрическая обработка снимков и построение фотограмметрической модели.** Как уже было отмечено, основным способом камеральной обработки перспективных аэроснимков является аналитический способ построения фотограмметрической модели. В основе своей он тот же, что и при построении модели по плановым снимкам. Измерение снимков производится на стереокомпаратore, а математическая обработка результатов измерений — на ЭВМ. Основным отличием обработки перспективных снимков по сравнению с плановыми является необходимость учитывать большой поперечный угол наклона ( $\theta$ ) снимков. При математической обработке это делается следующим образом: вначале модель строится в фотограмметрической базисной системе коорди-

нат. Определение этой системы дано выше. Вследствие наклона снимков на угол  $\theta$  вся система будет наклонена относительно горизонта на этот угол. Угол  $\theta$  приближенно измеряется в полете и известен с погрешностью порядка 1—1,5°. После построения модели ее координатная система поворачивается вокруг оси  $X$  (базиса фотографирования) на угол  $\theta$ . Эта операция производится на основании формулы (3). Полученная приближенно горизонтированная модель преобразуется в заданный масштаб и точно горизонтируется по опорным геодезическим точкам аналогично тому, как это делается при обработке плановых снимков. Если опорные точки отсутствуют, то модель остается приближенно горизонтированной (ее наклон обычно не превышает 1—2°) и с приближенно известным масштабом. Для уточнения масштаба могут быть использованы данные высотомеров барометрического или радио, установленных на самолете, а также имеющиеся топографические карты. Так, если на снимках и на карте опознана идентичная точка, то после построения модели величину базиса фотографирования можно уточнить, используя формулу

$$B = B' \frac{H_0 - A_i}{|Z_i|}, \quad (32)$$

где  $B'$  — первоначально принятное значение базиса;  $H_0$  — высота полета относительно уровня моря;  $A_i$  — отметка опознанной точки, взятая с карты;  $Z_i$  — координата точки, полученная после построения модели. После получения уточненного базиса модель строится повторно, в новом масштабе. При полете над плоской местностью или над водной поверхностью величина  $H_i = H_0 - A_i$  может быть получена непосредственно по радиовысотомеру.

Учитывая влияние углов наклона и погрешность барометрического измерения высот, точность такого определения масштаба модели можно принять равной 3—5%.

Другой способ уточнения базиса фотографирования основан на том, что на карте опознаются центры двух снимков, входящих в один маршрут (например, первый и последний снимки). Тогда базис (в м) может быть вычислен по формуле

$$B = \frac{l_k M_k}{1000 n}, \quad (33)$$

где  $l_k$  — расстояние между центрами снимков на карте (в мм);  $M_k$  — знаменатель масштаба карты;  $n$  — число базисов, уложившихся между опознанными точками. Точность при таком определении базиса составляет около 2—3%. Следовательно, и при отсутствии опорных точек можно построить модель с погрешностью масштаба порядка 2—5%. Такая точность, как правило, достаточна для целей геологических и инженерно-геологических исследований. При необходимости, по перспективным аэроснимкам, так же как и по плановым, производится пространственное фототриангулирование, т. е. построение единой модели в пределах нескольких смежных стереопар.

После построения фотограмметрической модели по ней могут быть получены количественные характеристики изучаемых объектов. При оценке точности линейных и угловых величин, а также площадей, необходимо учитывать, строго или приближенно производилось горизонтирование модели и приведение ее к заданному масштабу. В первом случае погрешность определения линейных элементов (превышения длины) зависит от точности определений координат точек модели. Как показывает опыт, при обработке перспективных снимков масштаба 1:5000, полученных фотокамерой А-39, средняя квадратическая погрешность определения координат точек относительно геодезической опорной сети составляет  $\pm 0,4$  м в плане и  $\pm 0,3$  м по высоте.

Примерно с такой же точностью определяется и взаимное положение двух точек.

Во втором случае относительная погрешность масштаба войдет в относительные погрешности всех определяемых линейных элементов. Погрешность измерения уклонов определяется точностью горизонтирования модели, т. е.  $1-2^\circ$ . При измерении площадей следует иметь в виду, что относительная погрешность определения площади равна удвоенной относительной погрешности масштаба. Измерение превышений по строго горизонтированной модели может производиться без каких-либо ограничений во взаимном расположении точек. При приближенно горизонтированной модели превышения могут измеряться надежно только между близкими точками. В этом случае, задавшись допустимой погрешностью измерения превышений  $\delta h$ , можно ориентировочно подсчитать допустимое расстояние (в плане) между точками по формуле

$$l = 30\delta h. \quad (34)$$

Все количественные характеристики получают по модели аналогично тому, как это делается для плановых аэроснимков.

Перспективные аэроснимки дают хороший материал для построения детальных профилей склона. Если профиль приурочен к какому-либо контуру (например, русло водотока), то при измерении стереопары берутся точки на всех характерных местах контура. После построения модели точки по координатам  $X$  и  $Y$  нааются на план, а затем — на «спрямляющую линию»  $L$  (рис. 11). От этой линии откладываются значения  $Z$ . Полученные точки (1—5) соединяются. Если необходимо построить профиль в сечении вертикальной плоскости, следует учитывать то обстоятельство, что снимок является центральной проекцией и прямая линия, проведенная на нем, не всегда будет прямой на плане. Поэтому при построении вертикального профиля следует придерживаться следующего правила: линия профиля на снимке должна соответствовать направлению на точку надира \*.

\* Точка надира — точка пересечения плоскости снимка отвесной прямой, проходящей через центр проекции снимка.

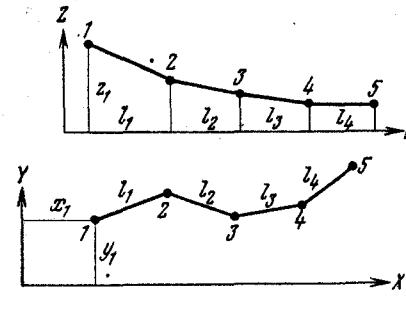


Рис. 11. Построение профилей склона по перспективным аэроснимкам

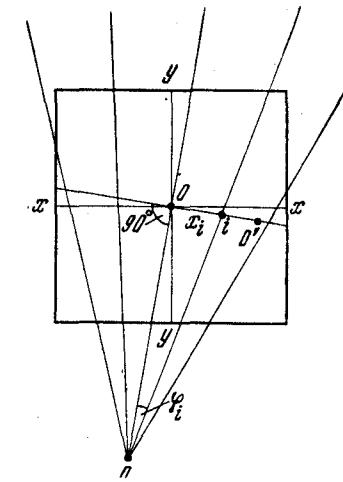


Рис. 12. Построение вертикального профиля по перспективным аэроснимкам

Практически для измерений выбирают такую стереопару, чтобы направление профиля на левом или правом ее снимке было близко ( $\pm 2^\circ$ ) к одной из линий пучка, изображенных на рис. 12. Центральная линия пучка — по проходит через центр снимка (главную точку) перпендикулярно к начальному направлению  $oo'$ . Угол  $\varphi_i$   $i$ -й линии относительной центральной определяется соотношением

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \frac{x_i}{f} \operatorname{ctg} \theta_i, \quad (35)$$

Для удобства работы имеется специальная палетка. Сопоставление профилей, построенных в одной вертикальной плоскости по снимкам разных лет залета, показывает величины переформирования склона. По перспективным снимкам могут быть измерены и оползневые смещения, если на разновременных снимках опознаются идентичные предметы, участвующие в смещении (кусты, камни и т. д.). Как показывает опыт, такие измерения могут проводиться при смещениях в 1 м и более.

В результате разнообразных измерений можно получить фактический материал, дающий количественную характеристику разных элементов аэрофотоизображения или перспективного снимка. Этот материал может быть использован для выделения анализа тех видимых элементов ландшафтной структуры, которые в своей совокупности образуют ландшафтный рисунок.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЗИОНОМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕРРИТОРИИ ПРИ ИНДИКАЦИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Одной из наиболее перспективных областей использования количественного анализа аэрофотоснимков является исследование рисунка, образованного на земной поверхности ПТК разного ран-

Таблица 5

## Наиболее распространенные количественные приемы анализа ландшафтного рисунка

Группа приемов	Количественный прием (показатель)	Примечание
Количественные приемы анализа состава рисунка	<p>Простейшие характеристики</p> <p>Количество типов <math>m</math></p> <p>Количество контуров <math>n</math></p> <p>Доли площади <math>\frac{S_l}{S}</math></p> <p>Доли количества контуров <math>\frac{n_l}{n}</math></p> <p>По типам (<math>i=1, 2, \dots, m</math>)</p> <p>Средняя площадь:</p> <p>общая <math>S_0 = \frac{S}{n}</math>,</p> <p>по типам <math>S_{0i} = \frac{S_i}{n_l}</math></p>	
	<p>Характеристики сложности</p> <p>Индекс дробности <math>K = \frac{n}{S}</math></p> <p>Коэффициент сложности <math>K = \frac{n}{S_0}</math></p> <p>Коэффициент ландшафтной раздробленности <math>K = \frac{S_0}{S}</math></p> <p>Энтропийные меры сложности ландшафтной структуры <math>H = - \sum_{i=1}^m \frac{S_i}{S} \log_2 \frac{S_i}{S}</math></p> <p>Мера неуравновешенности <math>H_1 = H_{\max} - H</math></p> <p>Мера однообразия <math>H_2 = \frac{H}{H_{\max}}</math></p> <p>Показатель сложности <math>H_3 = 1 - \frac{H}{H_{\max}}</math></p> <p>Энтропийная мера разнообразия</p> <p><math>H^* = - \sum_{i=1}^m \frac{n_l}{n} \log_2 \frac{n_l}{n}</math></p> <p>Коэффициент ландшафтной неоднородности</p> <p><math>K = \frac{m}{m-1} \times \left[ 1 - \sum_{i=1}^m \left( \frac{S_i}{S} \right)^2 \right]</math></p>	$K = \frac{n^2}{S}$ $K = \frac{1}{n}$ $H_{\max} = \log_2 m$

га. Этот рисунок получил название ландшафтного рисунка (см. гл. I). Он является изображением ландшафтной структуры территории. Синонимом является также термин морфологический рисунок [38]. Для того чтобы подчеркнуть геометрический аспект рассмотрения, участки (а не линии!), образующие рисунок и соответствующие ПТК, называются в дальнейшем ландшафтными контурами. Как отмечалось выше, эти понятия не совпадают с понятием аэрофоторисунка, охватывающим все, что видно на АФС. В соответствии с физико-географическим содержанием ПТК (ландшафтные контуры) могут быть сгруппированы в ряд типов (солончаки, такыры, заболоченные микрозападины и т. д.), которые называются в дальнейшем типами ландшафтных контуров. Ландшафтный рисунок отражается на материалах дистанционных съемок и благодаря им относительно легко наблюдается.

Практически важной для индикационных целей является задача количественного описания и анализа ландшафтной структуры территории и дальнейшего истолкования полученных материалов.

В настоящее время известно довольно много количественных приемов анализа ландшафтного рисунка. Для того чтобы систематизировать все их многообразие, нами было выделено пять групп его особенностей: 1) состав ландшафтной структуры; 2) форма ландшафтных контуров; 3) их ориентировка; 4) метрические и 5) топологические черты расположений контуров.

Наиболее нетрадиционная группа — топологические особенности взаиморасположения, под которыми подразумеваются ландшафтное сопряжение или соседство. Это — особенности рисунка, не меняющиеся при любых непрерывных его преобразованиях. Эта характеристика предложена одной из первых С. В. Преображенским (1966 г.); в последние годы значение соседства обосновано в работах по физико-географическому районированию, по значению географического соседства, по дешифрированию космоснимков и введением этого параметра для описания ландшафтного строения. Индикационное значение соседства рассматривается в работе А. С. Викторова [8].

В соответствии с выделенными группами особенностей рисунка могут быть классифицированы и количественные приемы анализа. Большинство приемов разделяются на названные группы. При этом иногда определенный количественный прием затрагивает сразу несколько групп. Приемы количественного анализа, наиболее распространенные, приведены в табл. 5. Мы позволим себе остановиться специально только на одном, который характеризует такие мало исследованные особенности ландшафтного рисунка, как топологические (особенности ландшафтного соседства). Это — матрица. Постоянство и выдержанность ближайших соседств для каждой пары типов контуров характеризует матрица  $N = \left( \frac{n_{ij}}{n_{ij}} \right)_i$  (табл. 6). Она имеет некоторые преимущества по отношению

Продолжение табл. 5

Группа приемов	Количественный прием (показатель)	Примечание
	Распределение диаметров $F_{d_i}(x)$ и площадей $F_{q_i}(x)$ контуров данного типа $i$	
	Показатели удлиненности: 1) $K_1 = \frac{d}{d_1}$ , $K_2 = 1 - \frac{d}{d_1}$ 2) $K_1 = \frac{q}{d^2}$ , $K_2 = \frac{\pi d^2}{4q}$ , $K_3 = \frac{Vq}{d\sqrt{\pi}}$ Отношения радиусов и площадей вписанных, описанных и равновеликих контуру окружностей Показатели расчлененности: $K_1 = \frac{p}{2\sqrt{\pi}q}$ , $K_2 = \frac{p^2}{4q\pi}$ , $K_3 = \frac{p}{q}$ Отношение разности площадей обводящего и исходного контура к исходной площади; отношение периметров обводящего и исходного контуров	$d_1$ — максимальный поперечник $p$ — периметр
Приемы анализа формы ландшафтных контуров	Приемы полного описания формы Приравнивание контура к равностороннему $n$ -угольнику и описание его системой сумм: а) расстояний между вершинами через одну, две вершины; б) расстояние суммы квадратов этих же расстояний Метод дирекционных спектров. Приравнивание контура ломаной и построение распределения ориентации ее звеньев Характеристика контура долей периметра, где кривизна положительна, отрицательна, близка к нулю $K_1 = \frac{p_+}{p}$ , $K_2 = \frac{p_-}{p}$ , $K_3 = \frac{p_0}{p}$ Метод вращающихся траверс Построение распределения длин отрезков пересечений контуров данного типа случайно расположенным линиями фиксированных направлений Система распределений для всех направлений служит описанием особенностей формы	

Продолжение табл. 5

Группа приемов	Количественный прием (показатель)	Примечание
	Характеристики ориентировки контуров Распределение направлений диаметров и спрямленных границ $f_\gamma(x)$ и его параметры Изменение энтропии названного распределения, построенного для различных участков рассматриваемой территории $H_\gamma = - \int_{-\infty}^{+\infty} \log_2 f_\gamma(x) f_\gamma(x) dx$	
Характеристики взаиморасположения ландшафтных контуров особенностей	Характеристики взаиморасположения контуров Функция распределения количества центров контуров данного типа в пределах случайно выбранной площади $F_{n_0}(x)$ и ее параметры (коэффициент вариации, встречаемость — вероятность непустой площадки, средняя плотность $\bar{n}_0$ ) Распределение расстояния между парами контуров в различной модификации («ближайшее соседство», расстояние в выбранном направлении и др.) $F_r(x)$ Серия распределений числа и длины * пересечений контуров данного типа случайными транsectами разных направлений Построение функций различных показателей для скользящей площади (плотности контуров, доли площади, занимаемой каким-либо типом контуров и др.)	
Приемы анализа топологических особенностей ландшафтного рисунка	Матрица $A_l = \left( \frac{l_{ij}}{\sum_{i,j} l_{ij}} \right)$ , где $l_{ij}$ — суммарная длина общих границ типов $i$ и $j$ Матрица $A_\rho = \left( \frac{\rho_{ij}}{\sum_{i,j} \rho_{ij}} \right)$ , где $\rho_{ij}$ — суммарное число соседств типов $i$ и $j$ Показатели средней контрастности ландшафтных сопряжений для данной территории $K_1 = \sum_{i,j} \frac{\rho_{ij} r(i,j)}{\sum_{i,j} \rho_{ij}}$ , $K_2 = \sum_{i,j} \frac{l_{ij} r(i,j)}{\sum_{i,j} l_{ij}}$ , где $r(i,j)$ — классификационное расстояние между типами $i$ и $j$ Матрица $N \left( \frac{n_{ij}}{n_i} \right)$ , где $n_{ij}$ — число контуров типа $i$ , граничащих хотя бы с одним контуром типа $j$	$K_1 = sp(A_\rho R)$ $K_2 = sp(A_l R)$ , где матрица $R = (r(i,j))$

\* Прием характеризует также особенности формы контуров.

Таблица 6

Матрица соседства  $N$ , составленная для ландшафтной структуры участка пустыни Прикаспия (по картосхеме Б. В. Виноградова)

0	0,81	0,56	0,31	0,31	0,06	0,19	0
0,54	0	0,83	0,38	0,46	0,08	0,58	0,12
0,10	0,22	0	0,34	0,39	0,08	0,80	0,29
0,21	0,42	0,88	0	0,79	0,12	0,58	0,29
0,11	0,33	0,64	0,56	0	0,56	0,89	0,25
0,25	0,50	0,75	0,50	0,50	0	0,50	0,50
0,11	0,44	1,00	0,56	0,89	0,11	0	0,39
0	0,33	0,67	0,56	0,89	0,22	1,00	0

к матрице  $A_\rho = \frac{\rho_{ij}}{\sum_j \rho_{ij}}$ . Например, пусть один контур типа 1 граничит с многими контурами типа 2, но остальные контуры типа 1 не сопряжены с контурами типа 2. Матрица  $A_\rho$ , основанная на числе контактов, фиксирует постоянное и закономерное соседство типов 1 и 2, подобно тому как если бы каждый контур типа 1 граничил с каким-либо контуром типа 2. С помощью же матрицы  $N$  эти два случая легко различимы.

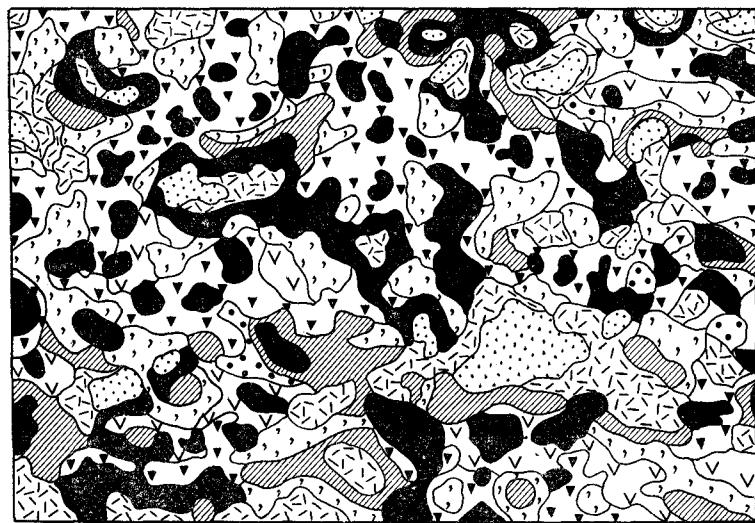


Рис. 13. Ландшафтная схема участка Прикаспийской низменности (По Б. В. Виноградову, 1966):

1 — днища микропонижений с ксеромезофитно-разнотравно-типчаково-ковыльной растительностью; 2 — повышенные участки с полынко-типчаковой растительностью; 3 — то же, с ромашниково-типчаковой растительностью; 4 — наклонные поверхности с белополынно-типчаковой растительностью; 5 — то же, со злаково-белополынной растительностью; 6 — то же, с белополынной растительностью; 7 — повышенные участки с прутняково-белополынной растительностью; 8 — то же, с чернополынной растительностью

Визуальное выделение закономерностей ландшафтных соседств в случае разнообразно построенного рисунка затруднительно. Использование матрицы  $N$  позволяет выделить закономерности соседств. Пример этого приведен на рис. 13, 14.

Схема использования количественных приемов анализа ландшафтной структуры следующая: для нескольких участков исследователь получает (путем измерений на АФС, КФС или с помощью материалов перспективной съемки) наборы количественных характеристик. Затем, используя информацию о связях указанных характеристик с элементами инженерно-геологической обстановки, он интерпретирует количественные различия участков.

Важнейшим вопросом является выбор тех количественных характеристик, которыми следует оперировать. При этом исследователь ориентируется на интересующий его элемент инженерно-геологической обстановки. Наилучшим вариантом является тот, при котором количественная характеристика связана с определенными условиями. Практически в настоящее время лишь для небольшого количества характеристик мы располагаем указанной информацией. К сожалению, применение нового приема количественного анализа обычно тормозится отсутствием названной информации. Поэтому приходится руководствоваться некоторыми дополнительными предположениями о том, что какие-либо особенности рисунка, вероятно, могут быть связаны с тем или иным элементом инженерно-геологической обстановки. В этой ситуации могут быть использованы некоторые принципы отбора показателей из числа связанных с указанным элементом инженерно-геологической обстановки. Одним из возможных путей отбора является проверка инвариантности использованного показателя, которую можно пояснить следующим примером. Предполагается, что с интересующими нас элементами инженерно-геологической обстановки связана изрезанность границы ландшафтных контуров. В этом случае необходимо выбрать количественные характеристики расчлененности формы контуров (см. табл. 5). Критерием некоторой отбраковки может служить то, что форма контура не меняется при подобных преобразованиях рисунка, а следовательно, и ее показатели не должны при этом изменяться. Однако проверка подтверждает, что показатель  $K_3 = \frac{p}{q}$  изменяется при подобном преобразовании и, следовательно, в данном случае использован быть не мо-

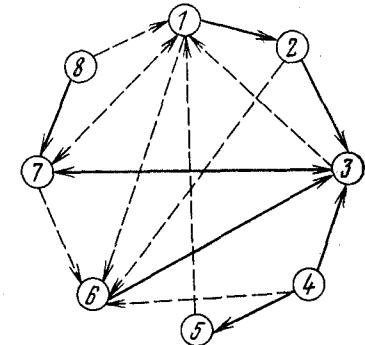


Рис. 14. Схема закономерностей соседств различных типов ландшафтов (см. рис. 13), составленная по матрице.

Сплошная стрелка проводится при условии «постоянного соседства»; пунктирная — при «запрещенном соседстве»

жет. Приведенный пример — простейший; могут встречаться случаи и более сложные.

Вопросы отбраковки встают и при совместном использовании нескольких показателей. Один из наиболее простых способов отбраковки — выделение аналитически эквивалентных показателей. Два показателя, рассматриваемые как функции одних и тех же аргументов (площади, числа контуров, их диаметров и др.), мы называем эквивалентными в том случае, если между их значениями существует взаимно однозначное соответствие. Для этого необходимо и достаточно, чтобы один показатель мог быть выражен через другой  $K_1 = f(K_2)$ , где  $K_1$  и  $K_2$  — рассматриваемые показатели, а  $f(x)$  — любая монотонная функция.

В этом случае значение одного показателя полностью определяет значение другого, и поэтому совместное их использование не несет дополнительной информации. Так, например, два показателя удлиненности (см. табл. 5)  $K_1 = \frac{q}{d^2}$  и  $K_3 = \frac{\sqrt{q}}{d\sqrt{\pi}}$  эквивалентны, так как  $K_3 = \frac{\sqrt{K_1}}{\sqrt{\pi}}$ .

Особую роль в использовании количественных характеристик ландшафтного рисунка играют общие количественные закономерности его строения, относительно слабо связанные с зональными климатическими условиями. Поэтому можно ставить вопрос о существовании таких количественных закономерностей, которые практически независимы от зональных условий. Здесь следует вспомнить, что одно из замечательных, по нашему мнению, свойств ландшафтного рисунка состоит в том, что во многих случаях рисунки, сформировавшиеся в разных зонах, но в сходных геолого-геоморфологических условиях под влиянием сходных процессов, близки по своим геометрическим особенностям. При этом физико-географическое содержание соответствующих ландшафтных контуров (например, контуров окружной формы, связанных с супфазией) может быть различным.

Это явление было определено В. А. Николаевым (1960 г.) как сходство «архитектурных планов» ландшафтов, сформировавшихся в разных климатических, но сходных геолого-геоморфологических условиях. Такое же положение более четко отражается и в других работах. Действительно, сравнение показывает, что если процесс карста или супфазии идет в условиях однородности верхней части геологического разреза (отсутствие интенсивного расчленения границ слоев, погребенных ложбин, интенсивной трещиноватости и т. д.) и при отсутствии заметных уклонов, то ландшафтные контуры, непосредственно связанные с карстом или супфазией, имеют одну и ту же форму, близкую к кругу или овалу. Причем эти ландшафтные контуры в различных зонах имеют разную почву и растительность.

Другим примером являются эрозионные промоины. Несмотря на наличие специфических особенностей (для каждого условий)

их растительности, почв и характера, в большинстве случаев для них характерна ветвистая, сильнорасчлененная форма.

Известно, что для неотектонических поднятий характерна агрегированность ландшафтных контуров в системе концентрических линий, а зачастую и удлиненность формы контуров, их ориентированность по названным линиям. Этот признак справедлив для различных зональных условий.

При вариации последних изменяется только физико-географическое содержание ландшафтных контуров, например микрозападины на Русской равнине, заторфованные низины в Припятской впадине, такыры и песчаные гряды в аридных регионах и т. д. Подобно этому для зон разрывных нарушений характерны агрегированность контуров в системе прямых линий и преобладание одного-двух направлений ориентировки. Эта геометрическая особенность не зависит от физико-географического содержания контуров, которые могут быть представлены солончаками буграми-булаками, булгунняхами, хасыреями и др. Таким образом, существование общих количественных закономерностей строения ландшафтного рисунка является лишь количественным проявлением относительной самостоятельности его геометрических особенностей.

Кроме названных общих оснований возможность существования общих количественных закономерностей подтверждается рядом результатов, указывающих на конкретные закономерности. Одной из них являются законы планового строения эрозионной сети и гидрографической сети, известные как законы Хортона [48] и полученные им для условий относительной геологической однородности: 1)  $r_n = r_1 \cdot r_b^{1-n}$ , где  $r_n$  — число потоков  $n$ -го порядка;  $r_b$  — постоянная (бифуркационное отношение); 2)  $L_n = L_1 \cdot r_L^{1-n}$ , где  $L_n$  — суммарная длина потоков сети порядка  $n$ ,  $r_L$  — постоянная.

В работах Р. Шрива теоретически выведен закон числа потоков Хортона. При этом автор исходил из предположения о равной вероятности образования топологически различных сетей, имеющих одинаковое число истоков. Последнее предположение подтверждено эмпирически.

Описанная закономерность является относительно независимой от зональных условий, так как показана ее справедливость для районов, различных по климату.

Одновременно данная закономерность относится к числу свойств, характеризующих ландшафтный рисунок, несмотря на то что он традиционно исследуется в геоморфологических и гидрографических работах. Это обусловлено тем, что эрозионная, гидрографическая и озерная сети являются элементами ландшафтной структуры территории. Такой взгляд обосновывается в работах Г. Д. Рихтера (1976 г.) и Ф. Н. Милькова (1975 г.). Это положение становится еще более явным при рассмотрении материалов дистанционных съемок, из которых следует, что эрозионная, озерная и гидрографическая сети являются неотъемлемой чертой ри-

Таблица 7

Сравнение эмпирических и теоретических распределений диаметров  
и средних диаметров ландшафтных контуров  
карстового и супфазионного генезиса

Район	<i>a</i>	<i>b</i>	$\chi^2 \pm \Delta \chi^2$	<i>N</i>	$\chi^2_{0.01}$	Характер величины
Средняя Сибирь	4,432	0,296	$7,421 \pm 0,799$	100	15,086	Диаметр
	4,352	0,267	$5,894 \pm 0,650$	100	13,277	Средний диаметр
Северный Урал	1,690	0,629	$4,636 \pm 0,670$	106	6,635	Диаметр
	4,213	0,763	$2,025 \pm 1,407$	130	15,086	То же
	3,962	0,885	$3,810 \pm 1,162$	227	15,086	"
Пермская область	6,803	0,384	$4,792 \pm 0,625$	72	15,086	Средний диаметр
	6,946	0,394	$6,063 \pm 0,537$	72	13,277	Диаметр
	3,980	0,409	$3,889 \pm 0,258$	61	9,210	То же
Белорусская ССР	3,831	0,403	$1,854 \pm 0,254$	61	9,210	Средний диаметр
	4,519	0,729	$38,896 \pm 1,862$	149	18,475	Диаметр
	5,153	0,646	$12,277 \pm 3,784$	165	21,666	То же
Устюкт	5,092	0,719	$13,052 \pm 0,841$	142	15,086	"
	4,342	0,729	$18,955 \pm 1,597$	149	21,666	Средний диаметр
	4,920	0,578	$12,429 \pm 1,421$	165	24,725	То же
"	4,905	0,691	$14,331 \pm 1,536$	142	21,666	"

ствительно, в большинстве случаев количество «к» центров контуров на случайно выбранной площадке подчиняется распределению Пуассона, т. е.  $p(k) = \frac{k_0^k}{k!} e^{-k}$ , где  $k_0$  — среднее число центров. Таким образом, вид закона распределения числа контуров на случайно выбранной площадке также является постоянным и не зависит от климатических условий, в которых расположены участки. Эта связь, по-видимому, представляет собой еще один пример общей количественной закономерности строения ландшафтного рисунка, относительно не зависящей от зональных условий.

Общие закономерности строения ландшафтного рисунка имеют большое значение для использования индикационных свойств количественных характеристик рисунка в самых разных аспектах.

Они дают еще одно основание для предварительного отбора и отбраковки количественных приемов анализа. Действительно, если нам известна закономерность, то мы знаем количество независимых параметров, необходимых для описания и анализа соответствующего свойства ландшафтного рисунка. Применение этих параметров в совокупности дает большую информацию по сравнению с использованием лишь некоторых из них. Если при анализе кроме одного параметра используется второй, то можно проверить, различаются ли по другим параметрам участки, отличные друг от друга по первому из них, и выдвинуть более обоснованные гипотезы о характере этих различий. В том случае, если мы не знаем

сунка изображения и исключение их из рассмотрения представляется неверным.

Существует и другая, более частная группа результатов, подтверждающих возможность существования общих количественных закономерностей строения ландшафтного рисунка. Она относится к рисунку, образованному ПТК карстового и супфазионного генезиса. Такой рисунок в условиях геологической и гипсометрической однородности обычно представляет собой фон, в который вкраплены контуры, непосредственно связанные с карстом или супфазией (воронки, западины с полынно-злаковой растительностью на темноцветных почвах и др.). Контуры в названных условиях имеют преимущественно форму, близкую к кругу или овалу, и не агрегируются в полосы, располагаясь относительно равномерно.

В. В. Толмачевым (1971 г.) исследованы диаметры ландшафтных контуров, непосредственно связанных с карстом, на пяти участках, расположенных в средней части ЕТС. При этом получено, что распределение диаметров на всех участках подчиняется логарифмически нормальному закону. Нами было выдвинуто предположение, что эта закономерность является общей, т. е. что распределение диаметров контуров рассматриваемого рисунка является во всех зональных условиях логарифмически нормальным, т. е.

$$F_d(x) = \Phi_0\left(\frac{\ln x - a}{\sigma}\right),$$

где  $a$  и  $\sigma$  — параметры;  $\Phi_0(t)$  — функция Лапласа, при этом параметры его могут зависеть от зональных условий. Это было проверено эмпирическим путем для участков, расположенных в различных зональных условиях. Для этого строились указанные распределения, которые затем сравнивались с теоретическими, логарифмически нормальными по критерию  $\chi^2$  (табл. 7). Результаты показывают, что в большинстве случаев гипотеза подтверждается. Таким образом, по-видимому, одной из возможных общих количественных закономерностей является то, что закон распределения диаметров контуров карстового и супфазионного генезиса в условиях однородности независимо от зонального положения имеет вид логарифмически нормального.

Было исследовано также расположение контуров, непосредственно связанных с карстом или супфазией. Для этого анализировалось распределение числа центров контуров, попадающих на случайно выбранную в пределах участка площадку. Относительная независимость появления этих контуров, сравнительно редкое их расположение и однородность условий давали основание предполагать пуассоновский характер случайного процесса появления контуров. Поэтому для ряда участков, расположенных в различных климатических условиях, исследовалось сходство названных распределений с распределением Пуассона с использованием критерия согласия  $\chi^2$  (табл. 8). Результаты подтверждают, что, дей-

Таблица 8

## Сравнение эмпирических и теоретических распределений количества контуров суффозионного и карстового генезиса

Район	Эмпирические частоты и теоретические вероятности						Количество измерений	$\chi^2 \pm \Delta\chi^2$	$\chi^2_{0,001}$
	$k_0$	$k=0$	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$			
Подгорная равнина Колея-Даг То же	1,654	0,185	0,315	0,285	0,138	0,054	0,023	130	0,494
	0,191	0,316	0,262	0,144	0,060	0,027		+0,293	13,277
	3,308	0,015	0,138	0,154	0,292	0,169	0,231	65	+2,736
Прикаспий	0,548	0,564	0,323	0,133	0,000	0,000	0,000	62	+2,420
	0,145	0,578	0,317	0,087	0,016	0,002	0,000	24,8	+0,056
	0,855	0,145	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	—	6,635
Барабинская степь То же	1,174	0,365	0,125	0,010	0,000	0,000	0,000	69	1,056
	0,399	0,406	0,174	0,166	0,000	0,014		+0,075	9,210
	0,520	0,576	0,339	0,073	0,012	0,000	0,000	342	+0,090
Барабинская степь То же	0,594	0,309	0,080	0,014	0,002	0,000	0,000	143	+0,342
	0,713	0,482	0,364	0,119	0,028	0,007	0,000	143	+0,158
	0,490	0,350	0,125	0,030	0,005	0,000	0,000	81	+0,193
Приангарье	2,123	0,099	0,259	0,309	0,148	0,111	0,074	81	1,766
	0,120	0,254	0,270	0,191	0,101	0,064		+0,108	6,635
	0,850	0,410	0,400	0,140	0,030	0,020	0,000	100	+1,150
Белорусская ССР	1,044	0,427	0,363	0,154	0,044	0,009	0,003	206	+0,060
	0,286	0,422	0,252	0,039	0,000	0,000	0,000	206	10,671
	0,352	0,368	0,192	0,086	0,017	0,004		+0,176	9,210
Прикаспий	0,912	0,375	0,375	0,212	0,038	0,000	0,000	80	+0,262
	0,462	0,366	0,167	0,051	0,012	0,002		+0,001	6,635
	0,959	0,286	0,513	0,175	0,017	0,008	0,001	119	+9,310
(Австралия) Северная Африка (Алжир) Русская равнина	0,622	0,387	0,367	0,174	0,055	0,013	0,004		+0,001
	0,500	0,408	0,161	0,031	0,000	0,000	0,000	98	2,924
	0,537	0,334	0,104	0,022	0,003	0,000	0,000	54	+0,016
	1,000	0,296	0,407	0,296	0,000	0,000	0,000	54	1,191
	0,368	0,368	0,184	0,161	0,015	0,004		+0,001	6,635

общей количественной закономерности, но используем в подобной ситуации зависимые параметры, различия участков по первому параметру подтверждаются автоматически. Это произойдет не из-за реальных различий участков в пределах рассматриваемой территории, а за счет связи параметров, обусловленной общей количественной закономерностью, вне зависимости от свойств данных конкретных участков.

Поясним сказанное на примере рисунка суффозионного или карстового генезиса. Если будут анализироваться различия двух участков, находящихся в условиях однородности, на которых разбит описанный выше рисунок, то можно использовать такие параметры, как  $d_{cp}$  и  $\sigma_d$  (средний диаметр и стандарт диаметра). Если же выявлены различия по параметру  $d_{cp}$ , то анализ параметра  $\sigma_d$  может подтвердить, опровергнуть или дополнить различия, т. е. нести информацию. Это обусловлено тем, что распределение диаметров имеет два независимых параметра. Если же для анализа будут использоваться параметры  $k_0$  и  $\sigma_k$  распределения числа центров контуров на случайно выбранной площадке, то различия участков по параметру  $k_0$  автоматически подтверждаются различиями по  $\sigma_k$ . Это объясняется тем, что закон распределения «к» однопараметрический и зависимость между этими параметрами заложена уже в общей закономерности, а не обусловлена различиями участков, а именно,  $k_0 = \sigma_k^2$ . Поэтому, если в дополнение к  $d_{cp}$  и  $\sigma_d$  будут использованы еще и другие параметры, например моменты более высокого порядка, то это не вносит существенных изменений.

Нами упоминались не сами параметры, а число их. Действительно, вместо параметров  $d_{cp}$  и  $\sigma_d$  можно было использовать  $a$  и  $\sigma$ ; между значениями этих пар параметров существует взаимно однозначное соответствие. Чтобы предпочесть какую-либо одну из них, нужно в каждом конкретном случае оценить опытным путем ее применимость, руководствуясь какими-то дополнительными данными.

Выделение общих количественных закономерностей имеет значение для сравнения информативности различных приемов анализа. Так, например, один из возможных приемов анализа ландшафтного рисунка — это построение распределения расстояния  $r_{min}$  от центра данного контура до ближайшего  $F_{r_{min}}(x)$ ; в частности, этот прием может быть использован и в рассмотренном выше случае рисунка карстового или суффозионного генезиса. Поскольку число центров контуров на случайно выбранной площадке «к» подчиняется закону Пуассона существует вероятность того, что в окрестности радиуса  $x$  вокруг центра данного контура будет отсутствовать другой контур  $q = e^{-\gamma x^2}$ , где  $\gamma$  — среднее число центров на единицу площади. Таким образом, вероятность  $P_{\{r_{min} < x\}} = F_{r_{min}}(x) = 1 - e^{-\gamma x^2}$ , т. е. использование распределения  $F_{r_{min}}(x)$  ничего не прибавит нам по сравнению с использованием распределения  $P_r$ . Следовательно, и параметры  $F_{r_{min}}$ ,  $\sigma_{r_{min}}$  и т. д. не несут дополнительной информации по отношению к  $k_0$ . Таким образом, информация об общих количественных зако-

Таблица 9

**Связи некоторых количественных показателей ландшафтного рисунка с элементами инженерно-геологической обстановки**

номерностях строения ландшафтного рисунка позволяет установить отношения эквивалентности не только среди показателей, но и среди приемов анализа в целом.

Существует также несколько иной аспект значения указанных общих закономерностей. Установление общих закономерностей означает установление некоторых инвариантов и в отношении не только климатических условий, но и некоторых геологических свойств. Так, пусть логнормальный закон распределения диаметров и закон Пуассона распределения числа контуров на пробной площадке справедливы в условиях геологической и гипсометрической однородности. Заметим, что в требование однородности не входят ограничения на состав пород, слагающих разрез территории. Это подтверждают и приведенные таблицы. Следовательно, вид указанных распределений не может служить индикатором состава пород; им могут быть только параметры распределений. Наряду с этим негативным выводом существует позитивный, вытекающий из той же гипотезы. Вид названных распределений может служить индикатором скрытых неоднородностей геологических условий, т. е. отклонение вида распределений от названных выше, рассматриваемых как типичные, нормальные может служить основанием для более детального исследования территории в целях поисков скрытой трещиноватости, следов древнего морозобойного растрескивания, погребенных ложбин и пр.

Как уже говорилось выше, одним из оснований выбора приемов для анализа ландшафтного рисунка в целях индикации является информация об индикационных связях тех или иных особенностей рисунка с элементами инженерно-геологической обстановки. Опыт в этом отношении (и отечественный, и зарубежный) пока недостаточен. Нами сделана попытка обобщить его в виде табл. 9, составленной по нашим данным и по многочисленным литературным источникам. В таблице приведены: 1) количественный прием анализа; 2) инженерно-геологический элемент или параметр, с которым обнаружена связь; 3) регион. Несмотря на то что данная таблица не способна дать ответ о выборе приема анализа, она может служить некоторой основой или исходной точкой для отбора.

Помимо анализа ландшафтного рисунка при аэrolандшафтной индикации инженерно-геологических условий могут использоваться количественные приемы анализа других компонентов. Одним из таких компонентов является растительность. Могут быть индикационно истолкованы такие параметры, как распределение расстояний между экземплярами, встречаемость и до какой-то степени — высота растения. Например, была выявлена связь названных параметров в аридных районах с глубиной и минерализацией грунтовых вод. Безусловно, речь идет только о тех видах, экземпляры которых хорошо видны на снимках (в основном деревья и кустарники).

Использование снимков позволяет проводить количественный анализ особенностей рельефа. Получение высот, характерных точек дает возможность составлять карты глубины расчлененности и

Количественный показатель	Инженерно-геологический параметр	Регион
Параметры распределения $F_d(x)$ для ПТК карстового генезиса	Литологические особенности пород	Устюrt
Распределение $F \frac{d}{d_1} x$ и его параметры для воронок	Мощность покровных отложений Литологические особенности известняков	Горьковская область (южная часть)
Плотность воронок $n_0$	Литологические особенности карстующихся толщ и мощность перекрывающих отложений	Горный Крым, Предуралье
Плотность микрозападин	Механический состав песчано-глинистых отложений	Прикаспий
Плотность солончаковых бугров $\frac{S_i}{S}$ , $d_{cp}$ , $r_{cp}$ показатель контрастности ландшафтного соседства, вычисленные для болот	Мощность солончакового горизонта Стратиграфо-генетические комплексы ледниковых отложений	Аридные регионы европейской территории СССР
Распределение $F_q(x) \frac{S_t}{S}$ , вычисленный для микрозападин	То же Мощность плаща, перекрывающего карстующуюся толщу, и содержание в ней нерастрового остатка	То же Украинская ССР (северо-западная часть)
Плотность $n_0$ развеваемых песчаных участков	Содержание глинистых частиц	Средняя Азия
$\sigma$ — бифуркационное отношение	Литологические особенности пород	Тибести, Гималаи, Индия
То же Частота звеньев дренажной сети	Тектонические условия Литологические особенности пород (метаморфических, вулканических и аллювиальных, ледниковых отложений, лессов)	Приангарь, Тибести, Гималаи, Индия, Северная Америка, Центральный Казахстан
$\alpha$ — угол слияния	Тип рыхлых отложений, наличие разрывных нарушений	Штат Айова, Приморье
$\frac{S_i}{S}$ — вычисленное для болот, озер и солончаков	Положительные и отрицательные структурные формы	Западная Сибирь, Приангарь, Низменные Каракумы, Устюrt
Плотность $n_0$ термокарстовых и суффозионных микрозападин	Локальные тектонические поднятия	Украинская ССР

Продолжение табл. 9

Количественный показатель	Инженерно-геологический параметр	Регион
Функции суммы диаметров контуров на скользящей площадке для западин и стариц	Тектонические поднятия	Украинская ССР
$d_{ep}$ для западин, аласов, песчаных ячей	То же	Прикаспий, Западная Сибирь, Низменные Каракумы
$K = \frac{m}{m-1} \left[ 1 - \sum_{i=1}^m \left( \frac{S_i}{S} \right)^2 \right]$	Неотектонические движения	Центральный Казахстан
Коэффициент вариации для $F_{n_0}(x)$ , вычисленный для чукалаков	Наличие разрывных нарушений	Средняя Азия
$F_r(x)$ , вычисленное для разываемых участков песков	Содержание глинистых частиц	То же
$f_r(x)$ , вычисленное для различных ПТК	Разрывные нарушения	"
Плотность дренажной сети	Тектонические движения	Крым, Югославия, Украинская ССР
Средние и общие длины звеньев дренажной сети	Древние тектонические структуры	Франция
Извилистость дренажной сети	Крупные разрывные нарушения	Средняя Сибирь
$H_\gamma = - \int_{-\infty}^{+\infty} \log_2 f_\gamma(x) f_\gamma(x) dx$	Крупные разрывные нарушения	Кавказ

комплекс карт по методике В. П. Философова и др. Полученные же характеристики обнаруживают связь и с составом пород, и с тектонической обстановкой.

Наконец, количественные приемы анализа аэрофотоснимков применимы для обоснования индикационных связей. Это относится прежде всего к повторной аэрофотосъемке. Фотограмметрические измерения высот и плановых координат на ключевых участках позволяют зафиксировать и количественно оценить произошедшие изменения, являющиеся результатом геодинамических процессов (оползневого, мерзлотных и др.). Одновременно проводимое описание физиономических элементов дает основу для экстраполяции и возможность по признакам закартировать процессы на всей площади.

В целом количественные приемы индикационного анализа, хотя еще и мало используются, но являются одним из наиболее перспективных направлений развития индикации.

## Глава III

АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ  
В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ  
В ГУМИДНЫХ ЛЕСО-БОЛОТНЫХ РЕГИОНАХ

## ОСОБЕННОСТИ ИНДИКАЦИИ В ЛЕСНЫХ ЛАНДШАФТАХ

В ландшафтах умеренных широт важнейшими группами ландшафтных индикаторов являются различные типы лесов, лугов и болот. Поэтому в настоящей главе мы уделим внимание именно им. Среди перечисленных крупных типов ландшафтов исключительно большая роль принадлежит типам леса. Это обусловлено их отчетливой заметностью на АФС, их крайней фитофизиономичностью и одновременно их теснейшей связью не только с почвенным покровом, но и с подстилающими его породами (что зависит от мощности корневых систем деревьев). Вследствие этого среди других направлений индикационных исследований для инженерно-геологических целей целесообразно выделить как особую отрасль индикацию по типам леса и их группам.

В гл. I уже говорилось о том, что связь растительности с горными породами использовалась в качестве вспомогательного признака при геологическом картировании уже довольно давно. Лесная растительность была впервые применена для этих целей П. А. Осоковым (1912 г.) и Н. К. Высоцким, но лишь при наземных исследованиях. Первые попытки ландшафтной индикации в лесах с широким использованием аэрометодов связаны с работами Н. Н. Пребраженской (1964 г.). Важнейшим теоретическим итогом ее исследований следует считать доказательство того положения, что в распределении типов леса в пределах ограниченных обособленных районов влияние материнских почвообразующих пород в большинстве случаев является ведущим фактором. Это открывает перспективу непосредственной индикации в первую очередь литогенной основы ландшафта — материнской горной породы. Такое направление получило широкое развитие. Сейчас имеется много исследований, касающихся локальной связи определенных сообществ с теми или иными горными породами в конкретных отдельных районах, так что для многих территорий СССР в настоящее время могут быть составлены региональные индикационные схемы с использованием типов леса. Итоги этих работ будут отчасти использованы нами в последующих разделах настоящей главы. Сейчас же необходимо остановиться на некоторых особенностях индикации в лесах. Первую из них составляет то, что на лесных АФС среднего масштаба выражены с почти одинаковой степенью ясно-

сти и ландшафтный рисунок (создаваемый распространением различных ПТК), и аэрофоторисунок (создаваемый преобразованием крон деревьев внутри участков ландшафтного рисунка). При индикационном лесном дешифрировании следует использовать и тот, и другой рисунки, но с несколько разных позиций. Если ландшафтный рисунок можно дешифрировать, используя совокупность методов, описанных в гл. II, то аэрофоторисунок необходимо анализировать с точки зрения его сомнутости и степени однообразия составляющих его точечных элементов, так как именно эти черты его оказываются несущими наибольшую индикационную информацию.

Следующей особенностью аэроландшафтной индикации в лесах является комплексное использование для индикации всех физиономических компонентов лесного ландшафта — как древесных пород, так и всех остальных внешних особенностей леса. Нельзя отрицать, что на лесных АФС мы часто видим преимущественно древесный ярус растительного сообщества. Однако одностороннее увлечение чисто фитофизиономической трактовкой в отношении леса значительно снижает возможности индикации.

К сожалению, часто приходится встречаться с преувеличенной оценкой индикационного значения древесных пород, что нашло отражение в работах П. С. Погребняка (1955 г.). Он считает, что наиболее важными индикаторами местообитаний являются не лесные фитоценозы, а отдельные виды, участвующие в них. При этом он подчеркивает индикационное значение древесных пород: «Самыми цennыми индикаторами, — пишет он, — являются главные древесные породы, их отсутствие или наличие, бонитет, возобновляемость, различие особенностей их биологии и экологии». Напочвенному покрову (мхи, лишайники и др.) он отводит второстепенную роль в индикации, хотя и признает их высокую чувствительность к изменениям среды. Между тем наши исследования в Карелии [26] показали, что именно детальное изучение тех участков, где деревья отсутствуют, дает наиболее ценные результаты для индикации инженерно-геологических условий. Так, например, наличие открытых, лишенных древесной растительности, лишайниковых полян среди сосняков является наиболее надежным индикатором близкого залегания скальных пород, прикрытых маломощным слоем элювия. Индикация по одному лишь древесному ярусу не дает в этом случае практических результатов. В ряде случаев на полянах и прогалинах удается видеть (как аэровизуально, так и на АФС) заросли ягодных кустарничков (черники, брусники) и вереска. Это также уточняет индикацию инженерно-геологических условий, так как леса (черничники, брусничники и верещатники) связаны с существенно различными грунтами.

Другой важной чертой индикации в лесах, близко связанной с вышеописанной, является подход к типу леса не как к геоботаническому, а как к ландшафтному явлению.

Еще в 1964 г. Н. Н. Преображенская писала, что при некоторых исследованиях ею в качестве индикаторов использовались не

растительные сообщества, а элементарные ландшафтные единицы (типа «физиографических единиц Никольса»), т. е. сочетание определенных сообществ с известными элементами рельефа.

Позже этот ландшафтный подход в индикационном дешифрировании лесов получил развитие в работах А. Н. Лукичевой (1963 г.), Д. Н. Сабурова (1972 г.), Д. М. Киреева (1976 г.) и др.

Далее весьма существенным для успешной индикации инженерно-геологических условий в лесах является учет сложности связи леса с горной материнской почвообразующей породой и наличие здесь явлений компенсации факторов [14]. Это требует использования представлений о лесной биогеоценологии, развитых в трудах акад. В. Н. Сукачева и его учеников. Ими вскрыты глубокие и сложные связи между всеми компонентами лесного биогеоценоза. Биогеологическая концепция позволяет поставить на прочную научную основу многие индикационные представления, имевшие до ее появления эмпирический и не совсем научный характер, и показывает необоснованность некоторых упрощенных индикационных построений, истолковывавших связь леса и субстрата слишком прямолинейно. Это особенно сказалось в вопросе о влиянии механического состава почвы и подстилающей породы на лес. Так, например, в работах по лесоведению довольно часто утверждалось без достаточного обоснования, что те или иные древесные породы тяготеют к определенным подпочвам — ель к тяжелым суглинистым и глинистым, сосна к песчаным и т. д. Однако более глубокое изучение взаимоотношений почвы и леса показало, что определенные изменения в физико-химических особенностях почвы могут компенсировать влияние материнской почвообразующей породы. Это приведет к появлению определенных лесных фитоценозов в не свойственных им условиях. Так, Б. Д. Зайцев (1949 г.) приводит данные о том, что в степных условиях в песчаных почвах может появляться столь значительное количество перегноя, что возникают своеобразные, нетипичные для легких субстратов, почвы, так называемые песчаные черноземы. На них в качестве коренных насаждений могут присутствовать уже не сосняки, обычно характерные для песков, а дубравы, т. е. насаждения, связанные с более тяжелыми породами. В данном случае обогащение песков органическими коллоидами как бы компенсировало их легкий механический состав и сблизило их по лесорастительным свойствам с суглинками и глинами.

Наконец, большое своеобразие приобретает индикация в лесах при монодоминантности древесного яруса, т. е. при господстве в нем одной древесной породы. Как будет показано ниже, индикация литологических условий при разнообразии господствующих древесных пород, хотя и сложна, но в целом достаточно бесспорна и ясна, так как наблюдаемые на АФС контрасты легко заметны. Иное положение наблюдается в том случае, если одна и та же древесная порода покрывает обширные пространства, не сменяясь другой. Здесь обычные приемы индикационного дешифрирования становятся бессильными. В своих исследованиях мы встретились

с подобным положением в работах в Юго-Западной Карелии, где на громадных территориях развиты массивы сосновых лесов. При первоначальном ознакомлении физиономический облик кажется крайне однообразным и выделение каких-либо контуров для дальнейшей индикационной интерпретации кажется невозможным. Детальное изучение этого региона привело нас к представлению о том, что акцент исследования должен быть перенесен с состава лесного насаждения на: а) его структуру; б) физиономическое варьирование доминирующей породы; в) ландшафтное содержание незалесенных пространств. Под структурой сообщества мы подразумеваем степень сомкнутости и физиономического однообразия древесного яруса, а также появление в нем открытых или разреженных участков. Физиономическое варьирование — это изменчивость очертаний крон экземпляров господствующей породы, приобретение ими деформированных угловатых аномальных очертаний и, наконец, характер незалесенных пространств, т. е. господство на последних тех или иных ПТК с своеобразными эктоярусами, не включающими в себя деревья. Совокупность этих признаков позволяет вести индикационное дешифрирование даже при крайней монодоминантности. Так, в сосняках Юго-Западной Карелии несомкнутая структура насаждений наблюдалась в двух крайних случаях — при близком залегании скальных пород и при заболачивании; аномальные формы крон отмечались только на заболоченных участках. Незалесенные же пространства на скальных породах были заняты лишайниками полянами, а на заболоченных участках — осоковыми и багульниковыми кочкарниками.

#### ОСОБЕННОСТИ ИНДИКАЦИИ НА БОЛОТАХ И ЛУГАХ

Совместное рассмотрение лугов и болот оправдывается довольно частой пространственной (а иногда и генетической) их связью. Последняя является наиболее частой между сырыми лугами и низинными болотами. Большинство специальных индикационных работ, относящихся к этим крупным типам природно-территориальных комплексов, по своей направленности тяготеют к концепции Л. Г. Раменского, развитой и существенно углубленной исследованиями Б. М. Миркина и его учеников. Для индикации используются или отдельные виды растений, или сообщества, в которых они доминируют. Индикатами же (т. е. объектами индикации) служат определенные сочетания экологических условий (плодородие почв и их увлажнение, режим проточности или застойности грунтовых приповерхностных вод, мощность торфяной залежи). Причем условия эти оцениваются в основном качественно, описательно. Однако и при таком характере рассмотрения природных взаимосвязей работы этого направления имеют большой научный и практический интерес.

Основной особенностью индикационных исследований на болотах и лугах является то, что в них самым противоречивым обра-

зом сочетаются сплошное покрытие их сомкнутым растительным покровом и отсутствие возможности непосредственного использования его для индикационного дешифрирования инженерно-геологических условий вследствие малого размера тех травянистых, мелкокустарничковых или моховых растений, которые его образуют. Поэтому болота и луга нужно рассматривать и дешифрировать как территории с комплексной физиономичностью. При этом мы исключаем из рассмотрения заболоченные леса, поскольку их изучение должно производиться с позиций лесного дешифрирования, особенности которого описаны выше.

Другая особенность аэrolандшафтной индикации инженерно-геологических условий, проявляющаяся наиболее отчетливо у болот, заключается в известной трудности распознавания их основных генетических типов с помощью аэрометодов. Общеизвестно деление болот на низинные, верховые и переходные (типы Вебера), различающиеся по богатству зольного питания и по характеру связи с грунтовыми и атмосферными водами. Первые характеризуются господством болотного крепнотравья и крупных болотных кустарников и деревьев (ива, ольха и др.), а также тяготением к отрицательным формам рельефа. Вторые опознаются по развитию характерного специфического рельефа (буగры, гряды, мочажины, озерки), по специфической растительности (буро-зеленые, бурые, розоватые, красноватые сфагновые мхи, типичные болотные кустарники и кустарничек — багульник, подбел, голубика, клюква, морошка), по характерной пологовыпуклой форме болота и по наличию лага, т. е. обводненной окраины, обрамляющей болото (последние два признака выражены только у хорошо развитых старых верховых массивов). Верховые болота чаще встречаются на водораздельных равнинах. Переходные болота имеют промежуточные признаки.

Именно с этими типами болот, а следовательно, и господствующими торфов связываются грунтоведческие характеристики последних. Поэтому определение их весьма важно для практики инженерно-геологических работ. Однако, различимость этих типов на АФС не всегда надежна. Н. П. Дюкарев (1948 г.) предлагает в качестве прямых признаков низинных болот — темный однородный тон, отсутствие внутриструктурного рисунка и общую вытянутость, а для верховых — неправильность и разнообразие общего контура болотного массива, неравномерность интенсивности фототона и волнистый рисунок. Е. А. Галкина (1972 г.) выделяет типы не по принципам, предложенным Вебером, а по общеландшафтным условиям возникновения болот (табл. 10).

Наши исследования убедили нас в том, что возможен некоторый синтез дешифрирования типов по той и другой классификации. Он должен развиваться в плане выделения стадий развития того волнистого рисунка, который создается чередованием гряд и мочажин. Чем ярче он выражен, тем глубже проходил процесс формирования верхового массива; чем он слабее, тем более выявляется переходный характер болота. Комбинируя этот признак

Таблица 10

## Признаки дешифрирования болотных мезоландшафтов (по Е. А. Галкиной)

Тип мезоландшафта болот	Некоторые особенности аэрофотоизображения
Мезоландшафты замкнутых западин	Округленность или овальность формы, замкнутость контура и слабая его изрезанность
Логов сточных котловин	Лентовидность и сильная изрезанность контуров
Проточных котловин	Вееровидная форма контура, суживающаяся к месту стока
Подножий склонов	Округленность контура при его незамкнутости и наличии отходящего от него пути стока
Речных плесов	Примыкание к коренным берегам долин или склонам террас, исчерченность параллельными полосами (от сползания торфа по склону)
Пологих склонов обмелевших озер	Вытянутая форма. Расположение у русла реки, с валом между болотом и руслом
Дельтовые	Кольцевидная или бобовидная форма
Пойменные	Ворсиковидная форма, расширяющаяся от устья ручья к наиболее удаленной части дельтового разлива
	Серповидная форма

с данными табл. 11, можно выделять сначала типы по Е. А. Галкиной, а внутри их — стадии Вебера.

Для оценки степени его выраженности можно использовать показатели болотных комплексов, предлагаемые Н. Е. Третьяковым, П. В. Горским и Г. Г. Самойловичем (1952 г.) (табл. 11).

Таблица 11

## Признаки дешифрирования болотных комплексов

Объект	Признаки дешифрирования
Озерково-мочажинный комплекс	Рисунок с извилистой полосчатостью и темно-серым фототоном; разбросаны черные округлые (озера) и щелевидные (мочажины) пятнышки
Грядово-мочажинный комплекс со слабо увлажненными мочажинами	Концентрически-полосной, извилистый рисунок (темные полосы — гряды, светлые — мочажины)
То же, с сильно увлажненными мочажинами	То же, но темными изображаются мочажины, а светлыми — гряды

Уточнения в дешифрирование типов болот могут быть внесены путем аэровизуальных наблюдений. Н. П. Дюкарев предлагает для этого пользоваться признаками различия типов болот по Веберу, которые мы приводим ниже с отдельными нашими дополнениями (табл. 12).

Значительным своеобразием обладает индикационное дешифрирование верховых болот. В верховых массивах, питающихся за счет атмосферных вод, формируется автономная гидрологическая система, образованная многочисленными линиями стекания, т. е. совокупностью кривых (в горизонтальной проекции болота), указывающих направление стока поверхностных и фильтрационных вод и подчеркиваемых рисунком поверхности болота (обычно заметном отчасти на АФС). Неравномерность движения воды в торфе обуславливает возникновение более сложных элементов — озер, микроозерков, речек, ручьев и топей. Первые четыре элемента видны непосредственно. Топи могут быть распознаны лишь по индикаторам: застойные водораздельные топи (бессточные участки внутренней части болота) обозначаются зарослями осок и других болотных трав, при слаборазвитом моховом ковре; фильтрационные топи (с активным стоком) обозначаются густой системой мочажин с погруженными в воду мхами и редкими грядами с болотной сосной. На АФС распознавание всех этих элементов не вполне надежно. Для фильтрационных топей характерно примыкание их устьевых частей к лаггу, для застойных — изолированность от последнего. Однако без аэровизуальных наблюдений дешифрирование гидрологической системы верхового болота обычно оказывается неполным.

Таблица 12

## Аэровизуальные признаки основных типов болот

Типы болот	Аэровизуальные признаки
Низинное болото	Ровная темно-зеленая поверхность
Переходные болота (осоково-сфагновые) без деревьев	Пестрый рисунок темно-зеленых (влажный торф), зеленых (осоки), желтых (усохшие осоки) пятен, без резких переходов
Переходные болота с грядово-мочажинным комплексом	Чередование зеленых и светло-желтых гряд с темно-зелеными или черными мочажинами (последние — с водой)
Верховое болото	Узкие зигзагообразные параллельные друг другу темные линии (переувлажненные участки) по светлому буроватому, буровато-зеленому или розовато-буровому фону. Часто видна мелкая рассеянная россыпь крон болотной сосны. По окраине темно-зеленая полоса лагга

Таблица 13

**Некоторые связи физиономических и деципиентных компонентов природно-территориальных комплексов на поймах Белорусской ССР (с некоторой генерализацией)**

Признаки дешифрирования и аэровизуального распознавания эктоярусов ПТК	Деципиентные компоненты ПТК
Крупногравийный рельеф с сочетанием грив и глубоких понижений. Мелкотравные, сухолюбивые травостои из полевицы обыкновенной, овсяницы овечьей и разнотравья	Преобладание песков. Почвы неразвитые. Увлажнение недостаточное. Грунтовые воды на глубине более 5 м*
Плоскогравийный рельеф. Преобладание корневищных злаков (пырей ползучий, костер безостый), грубостебельное разнотравье (щавель, крапива, хвоц полевой)	Пылевато-песчаные грунты, почвы слаборазвитые
Западины и понижения между гривами с крупноосоковыми, манниковыми и канареечными лугами с болотным разнотравьем	Пылевато-илистые оглеенные грунты, местами — торфонакопление
Узкие ложбины и широкие понижения (центральной части поймы) с лисохвостово-канареечными и бекманиево-канареечными лугами. Местами низинные осоковые болота с зарослями ив	Иловато-глинистые, сильнооглеенные грунты
Равнины притеррасной поймы, со старицами и притеррасными речками. Канареечные, бекманиевые, манниковые луга, ольхово-осоковые и бересово-осоковые болота с влаголюбивым крупнотравием	Иловатые, сильнооглеенные грунты, местами перекрытые торфом

На лугах однообразие растительного покрова, образованного травами, практически неразличимыми на АФС, заставляет, с одной стороны, обращать значительное внимание на рельеф как на индикатор грунтовых условий, а с другой — фиксировать в индикационных схемах господствующие виды трав, которые могут быть замечены при аэровизуальных наблюдениях. Примером удачного сочетания этих двух групп индикационных признаков являются исследования З. Н. Денисова (1962 г.), некоторые итоги которых систематизированы нами в табл. 13.

Таковы общие черты индикационных исследований в лесах, болотах и лугах гумидных регионов. Огромная протяженность и разнообразие последних и недостаточная их изученность не позволяют создать какие-либо единые индикационные схемы для всей их территории. Поэтому мы пытаемся дать представление о региональных индикационных закономерностях, рассмотрев несколько конкретных регионов, а именно Северо-Запад (Карелия), Запад (Белоруссия, Прибалтика), северо-запад Украины и юго-запад Западной Сибири.

**АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ  
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
В ПРЕДЕЛАХ ЛАНДШАФТОВ  
ОКРАИНЫ БАЛТИЙСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ЩИТА (КАРЕЛИЯ)**

Характерной чертой истории формирования ПТК Южно-Карельской среднетаежной провинции является то, что в результате длительной денудации и эрозии на дневную поверхность выведены сильнодислоцированные породы архея и протерозоя, которые перекрыты маломощным плащом моренных и водно-ледниковых отложений. Они и создают чередование форм денудационно-тектонического грядового и холмисто-грядового сельсового рельефа, рельефа моренных, озерно-ледниковых равнин и водно-ледниково-аккумулятивных форм рельефа. Распределение растительности, чередование типов леса в зависимости от их связи с рельефом образуют те или иные сочетания эктоярусов ПТК, имеющих свой специфический внешний облик и ряд прямых и косвенных признаков, определенных на АФС. Это позволяет с той или иной степенью достоверности выделять стратиграфо-генетические комплексы, послужившие литогенной основой этих ПТК. Ниже мы кратко характеризуем их дешифрируемость. Их индикационное значение указано в сводной табл. 14.

Сельсовый рельеф дешифрируется на АФС безошибочно по линейно вытянутым узким полосам различной длины, ориентированным в основном с северо-запада на юго-восток. Границы рисунка четкие. Хорошо прослеживается гребень гряды за счет больших прогалин в древостое, фототон их почти белый, а к краям контура фототон темнеет за счет сгущения древостоя. Деревья под стереоскопом различаются четко. Кроны деревьев (сосны) кажутся значительно приподнятыми над земной поверхностью. Хорошо просматривается характерная для этого комплекса разновысотность древостоя. Понижения между сельгами также четко дешифрируются по той же ориентированности и хорошо ощущимому понижению в рельефе.

Водно-ледниковые отложения — озы и камы — имеют широкое распространение в Карелии. Встречаются они обычно вместе. Выглядят камы на АФС пятнами серого и темно-серого фототона почти округлой или эллипсовидной формы различного диаметра от 0,5 до 2,5 см. Очертания рисунка отчетливы, так как покрытые лесом холмы хорошо выделяются на светло-сером фоне окружающих болот. Иногда в центре контура ясно просматривается напочвенный покров мхов и лишайников за счет разреженности древостоя.

Общий фототон серый, к краям темно-серый. Структура рисунка мелко-среднезернистая. В средних частях АФС хорошо заметна выпуклость проекций крон.

Озы на аэроснимках выглядят в виде узких извилистых полос длиной от 5 до 10 см, шириной от 0,5 до 1,0 см. Очертание рисунка — отчетливое (рис. 15). Стереоскопически хорошо ощущает-

Таблица 14

Индикаторы некоторых инженерно-геологических условий  
на территориях с сильнорасчлененным рельефом  
в пределах Карелии

Физиономические компоненты ПТК	Децепиентные компоненты ландшафта
<b>Ландшафт скалистых сельг</b>	
1. Высокие скалистые сельги. Гряды имеют тектонический характер рельефа — линии крутых разломов и вертикальных смещений обусловили неширокие понижения и высокие возвышенности с крутыми и нередко отвесными склонами. Гряды ориентированы с северо-запада на юго-восток	Архейские граниты и протерозойские сланцы в обнажениях или перекрытые тонким плащом моренных отложений (пески, супеси), в микропонижениях скопления мелкозема. Почвы примитивные, неразвитые
Растительность: на гребнях — скальный комплекс редких накипных лишайников с единичными деревьями (сосна). На склонах сельг — боры лишайниковые (сосново-елово-лишайниковые-каменистые)	Направление сельг соответствует простиранию основных геологических структур
2. Скалистые сельги. Гряды различного очертания и размеров нередко имеют плоскую вершину и крутые ступенчатые склоны. Иногда склоны сложены.	Сельги перекрыты мореной, представленной валунными неотсортированными песками мощностью до 0,5 м. Ступенчатость склонов наиболее четко выражена на сланцах, на элювии коренной породы. Почвы (в Северной Карелии) неразвитые, маломощные, на склонах и подножиях их — дерново-подзолистые, подзолистые или слабоподзолистые (в Средней Карелии) — иллювиально-железисто-подзолистые
3. Понижения между сельгами. Узкие глубокие понижения, ориентированные так же, как и гряды, с северо-запада на юго-восток. Нередко узкие понижения заняты водами озер, речек, ручьев. Растительность представлена:	a) лесами: елово-сосновыми, черничными, сосняками брусничными, черничными; в надпочвенном покрове — черника, брусника, вейник, вороника, костяника, майник, зеленые мхи; осоково-сфагновыми ельниками — основной фон — осоки и сфагновые мхи, кое-где майник, брусника, черника;
<b>Камы</b>	
1. Холмы округлой формы расположаются одиночно и группами, создавая камовый ландшафт. Высота их до 20 м. Кругизна склонов 10—20°. Растительность представлена сосняками воронично-лишайниковыми; ельниками воронично-брусличными и черничными; сосняками воронично-брусличными. В покрове: вороника, брусника, черника, вереск; светлые сухие лишайники (Кладония, Цетратрия)	Пески средне-крупнозернистые, супеси и бескарбонатные суглинки. Почвы — грубогумусные, слабоподзолистые и иллювиальные подзолы. Уровень грунтовых вод ниже 10 м
2. Межкамовые ложбины достигают широт нескольких километров. Склоны их длинные, пологие, кругизна не более 7°. Растительность: сочетание сосняков — черничников, ельников — черничниковых. Значительно реже сосняки и ельники-брусличики. В напочвенном покрове: черника, багульник, майник, седмичник, брусника, вороника, зеленые мхи	Супеси мощностью до 7 м. Почвы: дерново-намывные, слабоподзолистые, супесчаные или же дерново-перегнойные, слабосреднеподзолистые, супесчаные. Уровень грунтовых вод не ниже 2 м
3. Межкамовые замкнутые котловины представляют собой замкнутые впадины. Обычно они небольших размеров и располагаются между группами холмов. Рельеф, как правило, ровный, местами кочковатый. Растительность представлена комплексом различных лесов:	a) суглинки мощностью до 7 м. Почвы торфяно-болотные, торфяно-подзолисто-глеевые. Уровень грунтовых вод до 1 м

Физиономические компоненты ПТК	Децепиентные компоненты ландшафта
б) болотными массивами типа аапа; форма болота повторяет форму понижения; по площади они не значительны (от 10 до 50—70 га), часто образуют системы площадью до 200—300 га. Микрорельеф: грядово-мочажинный, кочковато-топянной. Повышения (кочки, гряды) заняты кустарничково-сфагновыми ценозами: береза ( <i>Betula pyrenaica</i> ) подбел, молиния, осоки. Мохового покрова — разные виды сфагновых мхов. Мочажины с различной сомкнутостью растительности: осоковые и осоково-сфагновые ценозы	б) близкое залегание коренных пород, торфяная залежь низинного типа или переходного, мощностью до 1,5—2,0 м. Нередко перекрытая верховым торфом мощностью до 0,25—0,50 м. При сильнорасчлененном рельефе мощность торфа 5,5—7,0 м. Тип питания — грунтовой с криволинейно сходящимся типом водного потока. В мочажинах — вода на поверхности, торф характеризуется бедностью основаниями и высокими показателями кислотности

Физиономические компоненты ПТК	Дешифрируемые компоненты ландшафта
6) болотные массивы типа аапа повторяют конфигурацию впадины, в среднем площадь их 40—50 га. Микрорельеф кочковатый: грядово-мочажинный комплекс (в центре болота). Растительность: осоки (воло-систо-плодная), шейхцерия, пущица, по кочкам и грядам морошка, в покрове сфагновые мхи	б) супеси и суглинки перекрыты слоем низинного и переходно-верхового торфа мощностью до 2 м. Водное питание грунтовыми и ключевыми водами. Почвы торфяно-болотные. Грунтовые воды — в мочажинах на поверхности
О зы	
1. Гряды, вытянутые в меридиональном направлении с северо-запада на юго-восток длиной от 1 до 40 км, высотой до 50 м. Крутизна склонов 10—35°. Наибольших высот достигают одиночные гряды. Иногда вершины их осложнены холмами. Растительность: сосняки лишайниковые, брусличные, черничные (по склонам); березняки элаково-черничные. В покрове вереск, вороника, грушанка, бруслица и др. Мхи: лишайники и зеленые мхи	Песчаные и гравийно-галечные водно-ледниковые отложения, иногда с валунами. Почвы маломощные и среднемощные иллювиальные, подзолы Под сосняками они песчаные и гравийно-галечные, а под березняками — супесчаные
Д р у м л и н ы	
1. Холмы, продолговато-овальной формы, располагаются всегда группами. Длина их 0,1—0,5 км, высота — от 10—15 до 50 м, в поперечном разрезе они асимметричны. Растительность представлена сосняками (брюсличными, черничными); ельниками (черничными и кисличными с примесью береск и осины)	Ядро коренных пород, перекрытых мореной мощностью от 0,5 до 2,0 м. Морена супесчаная и песчаная. Почвы маломощные, слаборазвитые; подзолы сухие. Грунтовые воды ниже 10 м

ся рельеф гряды; разновысотность и разреженность древостоя наблюдаются по гребню гряды. Следует заметить, что применение спектрональных аэроснимков значительно облегчит задачу дешифрирования лесных ландшафтов Карелии. Так, например, при разреженном древостое четко дешифрируется зеленоватый фон лишайников на общем буром зернистом фоне.

Друмлиновый ландшафт дешифрируется безошибочно. Гряды-друмлины выглядят на АФС средних масштабов в виде узких, нешироких полос, которые всегда располагаются группами, создавая «шахматный» рисунок. По серому фототону друмлины резко



Рис. 15. Озовая грязь, сложенная песчано-галечными отложениями и покрытая сосновым и смешанным лесом.



Рис. 16. Мореная равнина в области верхнечетвертичного оледенения. Лесная зона

Таблица 15

## Индикаторы некоторых инженерно-геологических условий на равнинах

Физиономические компоненты ПТК	Деципментные компоненты ПТК
Ландшафты моренных равнин северной тайги	
1. Холмы с плоскими вершинами различной конфигурации (чаще овальной формы) без определенной ориентировки. Высота их от 5—7 до 10 м; крутизна склонов от 5—8 до 15°; размер колеблется от 5—10 до 50 м в диаметре, создавая крупно- и мелкохолмистый рельеф. Сосняки (брусничники, черничники), ельники (брусничники, черничники)	Супесчаная морена мощностью до 10 м (несортированная, валунная, с большим количеством гальки и валунов). Почвы маломощные подзолы с железисто-гумусовым горизонтом. Грунтовые воды ниже 10 м.
2. Понижения между холмами занимают обширные, ровные территории, часто заболоченные (50%), размеры их меняются от 50 до 400 га. Растительность представлена сочетанием мхов и болот	Песчаная и супесчаная морена
A. Сосняки багульниковые, ельники осоково-сфагновые	A. Торфа в основном переходного и низинно-переходного типа; мощностью до 2—4 м; грунтовые воды не глубже 0,5 м; почвы торфяно-перегнойные, реже маломощные, оторфованные подзолы;
B. Болота типа аапа и переходно-верховые, травяно-сфагновые и верховые грядово-мочажинные; для них характерны комплексы: для гряд и кочек — кустарниковово-пушицево-сфагновые и кустарниковово-морошково-сфагновые ценозы; в мочажинах: пухносолово-шнейхцериево - сфагновые сообщества ( <i>Sphagnum baltici</i> или <i>S. papillosum</i> )	B. Торфа переходно-верхового типа; мощностью 2—4 м, реже 5—7 м; нередко питаются ключевыми водами. Низкие показатели рН (3,77—3,00); высокая гидролитическая кислотность (60,0—104,2); грунтовые воды (в мочажинах) с поверхности
Ландшафт моренных равнин средней тайги	
1. Холмы различных диаметров и ориентировки. Высота их 3—5—7 м; крутизна склонов 5—7°. Растительность: сосняки (брусничники, черничники), ельники (кисличники, брусничники, долгомошно-сфагновые с примесью бересклета, осины и ольхи серой)	Супесчаная и суглинистая морена мощностью до 10—15 м с примесью валунов и гальки. Почвы маломощные подзолы и подзолистые; у подножия склонов там, где распространен ельник (долгомошно-сфагновый), — почвы торфо-перегнойные. Грунтовые воды залегают на глубине 3—5 м. Под сосняками развиты супеси, а под ельниками — суглинки.

отличаются от межгрядовых понижений светло-серого фототона. Контуры четкие, ровные. Длина друмлинов на АФС от 4,5 до 6,5 см, ширина 1—1,5 см. Структура рисунка облесенных гряд, как правило, плотная, среднезернистая. Иногда по вершинам заметны белые пятна полян. Основные индикаторы некоторых инженерно-геологических условий в этих ландшафтах указаны в табл. 14. Она составлена как по нашим наблюдениям, так и по литературным данным.

Моренные равнины на АФС средних масштабов создают крупно- и мелкопятнистый рисунок. Видны пятна различного диаметра и конфигурации, облесенные холмы (рис. 16). Контуры их четкие, хорошо отличаются по фототону от окружающих болот, имеющих светло-серый, почти белый фототон. Специфической особенностью этого ландшафта является наличие беспорядочно расположенных озер и болот. Различные сочетания типов леса на холмах образуют неодинаковую зернистую структуру рисунка — от мелко- до среднезернистого с большим количеством мелких светлых пятен — полян. Обычно последнюю структуру образуют багульниково-сфагновые типы сосняков, ельников и березняков. Болотная растительность переходного и верхового типов располагается в котловинах и имеет светло-серый или белый фототон. Безлесные болота имеют аморфную структуру фоторисунка; грядово-мочажинные болота — извилисто-полосчатый рисунок, облесенные же болота приобретают некоторую зернистость, особенно по краям своих округлых расплывчатых контуров.

Озерно-ледниковые равнины образуют пониженные участки рельефа и легко дешифрируются по рисунку — извилистому, с закругленными очертаниями контуров, по светло-серому фототону. Структура рисунка в общем аморфна, редко разбросанные деревья придают ему некоторую зернистость.

Индикационное значение описанных выше эктоярусов ПТК (с некоторыми уточнениями, касающимися их морфологии) указано ниже в табл. 15.

Она составлена в основном по данным наших исследований с некоторыми дополнениями, внесенными по отдельным литературным источникам.

#### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ПРЕДЕЛАХ РАЗВИТИЯ ЛЕДНИКОВЫХ И ВОДНО-ЛЕДНИКОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРО-ЗАПАДА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ СССР

По сравнению с предшествующим регионом аэrolандшафтная индикация здесь затруднена вследствие большей равнинности территории. Значительно возрастает количество фитофизиономических площадей. В связи с этим увеличивается детальность индикационных геоботанических наблюдений, причем достичь ее можно только путем достаточно сгущенной сети аэровизуальных наблюдений с авиадесантными обследованиями на наименее про-

Продолжение табл. 15

Продолжение табл. 15

Физиономические компоненты ПТК	Децилиентные компоненты ПТК	Физиономические компоненты ПТК	Децилиентные компоненты ПТК
2. Замкнутые понижения различной конфигурации имеют большие площади — до 300 км. Они не имеют четкой ориентировки (по сравнению с аналогичными ландшафтами северной тайги).	Торф переходного и верхового типа и отложения сапропеля. Мощность торфяной залежи (особенно в центре) иногда достигает 6—7 м, часто перекрывающая торф низинного типа.	б) ельники — лога папоротниковые, в напочвенном покрове: таволга, костяника, хвощ. Дальше от русла злаки, черника, брусника, хвощ, папоротник, кислица	
Растительность: а) мочажинно-равнинный комплекс, или среднекарельский осоково-сфагновые, шейхцериевые (в центре болота) сообщества; по периферии — древесно-пушиевые и осоковые сообщества со <i>Sphagnum fuscum</i>	Болота подстилаются мореной. Под мочажинно-равнинным среднекарельским комплексом отмечается продолжение процесса болотообразования	2. Аккумулятивные террасы плосковхолмленные, осложненные ложбинами стока. Растительность: а) сосняки (брюничники, черничники); б) ельники (долгомошные, кисличники, черничники); в) березняки (в малых количествах). В напочвенном покрове — черника, брусника, вереск, грушанка, кислица, багульник, герань, зеленые мхи	Супеси и пески. Почвы грубогумусовые; слабосреднеподзолистые, супесчаные, в ложбинах — дерново-перегнойные
б) болота типа римпи; в) болота типа аапа	Под болотами типа римпи отмечаются увлажнения как поверхностно-сточными водами, так и грунтовыми. В целом характерно близкое залегание коренных пород	3. Эрозионные равнинные террасы, осложненные ложбинами стока. Растительность: а) сосняки (брюничники, черничники); б) ельники (брюничники, черничники, чаще всего кисличники). В напочвенном покрове — черника, голубика, брусника, герань, золотая розга, майник, зеленые мхи. В понижениях — березняки, кисличники и черничники	На повышенных местах — средневалунный суглинок; в ложбинах — супеси и суглинки. Почвы грубогумусовые, слабоподзолистые, суглинистые; в ложбинах — дерново-перегнойные, среднеподзолистые
<b>Ландшафты озерно-ледниковых равнин</b>		сматриваемых участках. Орофизиономичные ПТК нечасты, но все же встречаются главным образом по наиболее возвышенным частям региона.	
1. Плоские озерные террасы, занимающие обширные пространства, покрытые ельниками: черничниками, кисличниками, багульниковыми с примесью сосны, березы и осины. В покрове черника, брусника, вороника, багульник, грушанка, зеленые мхи, кукушкин лен ( <i>Polytrichum committne</i> ), реже сфагновые мхи	Пески и супеси, подстилаемые ленточными глинами. Местами суглинки, имеющие слоистое строение и постепенно переходящие в глины. Грунтовые воды на глубине от 1 до 3 м. Почвы торфяно-подзолистые, глеевые подзолы, иллювиально-железистые, с хорошо выраженным орштейновым горизонтом	Так, например, комплекс основной и конечной морены среднечетвертичного оледенения в таежной зоне выражен через рельеф и имеет на аэрофотоснимке мелко- и среднемозаичную структуру (рис. 17). Холмы и мелкие гряды выглядят в виде пятен различного диаметра и конфигурации; контуры четкие, плавные. Однако и фитофизиономичность не исключается. Мелко- и среднезернистая структура залесенных территорий серого и темно-серого фототона прерывается более светлыми пятнами болот и лугов в сочетании с дендритовидным рисунком орофизиономической овражно-балочной сети. Плоская или пологоволнистая моренная равнина характеризуется слабым эрозионным расчленением. Долины рек плохо разработаны, выделяются лишь поймы и местами первые надпойменные террасы. Такие равнинны на АФС имеют средне- или крупномозаичную, мозаичную структуру. Часть распаханные территории. В целом преобладает преимущественно серый фототон (места-	
<b>Ландшафты речных долин</b>			
1. Поймы рек, как правило, узкие с ровным рельефом с небольшим уклоном к руслу водоема. Растительность: а) сосняки осоково-хвощевые с примесью ели и березы. В покрове таволга, папоротник, хвощ лесной, гравилат, грушанка, майник;	Пески, супеси, реже суглинки и галечники. Почвы торфяно-перегнойные, среднеподзолистые, супесчаные; слабоподзолистые, супесчаные, дерново-аллювиальные		

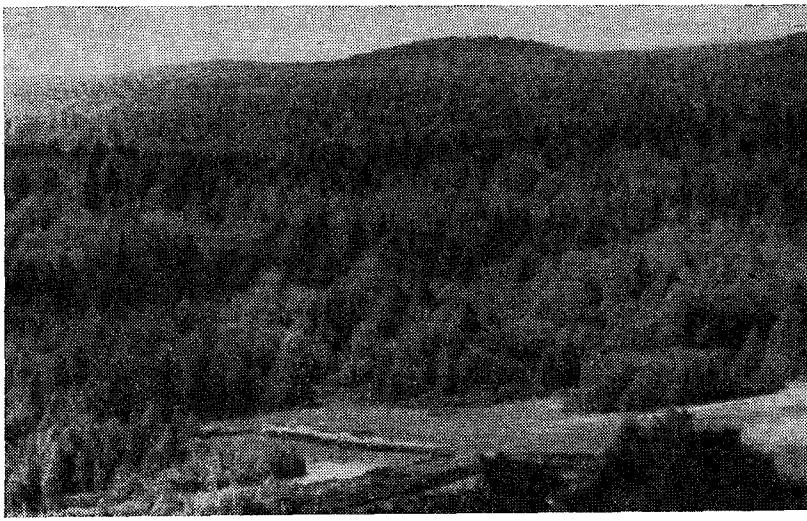


Рис. 17. Холмы конечных морен. Лесная зона



Рис. 18. Зандровая равнина, сложенная песками и покрытая сосновыми и смешанными лесами

ми с зернистым рисунком залесенных участков и светло-серого — с пятнами болот). Эрозионные формы дешифрируются нечетко. На крупномасштабных АФС повышенная щебнистость дешифрируется по «огрехам» и валунам, сваленным в кучи при распашке. Сильнощебенчатые морены могут быть также опознаны по многочисленным карьерам.

Комплекс приледниковых зандровых отложений имеет довольно однородную среднезернистую структуру серого фототона у залесенных территорий, с более светлыми пятнами пашен, имеющих прямые геометрические контуры.

Зандровые отложения в подзоне хвойно-широколиственных лесов на АФС имеют крупнопятнистую структуру с чередованием расплывчатых пятен болот, имеющих неоднородный фототон (рис. 18). Залесенные участки имеют разнозернистую структуру аэрофоторисунка.

Разнозернистость рисунка определяется колебаниями диаметров крон лесообразующих пород. Наиболее легко опознается на АФС дуб по крупным округлым кронам. Это важно, поскольку по наличию дуба в примеси древостоя можно судить о карбонатности почвообразующих пород.

Древние ложбины стока дешифрируются по линейно вытянутым очертаниям и часто плотной мелкозернистой структуре рисунка, а также по положению в рельефе.

Озерно-ледниковые отложения (рис. 19), представленные преимущественно глинистой толщей с прослойями песков, имеют на



Рис. 19. Озерно-аллювиальная равнина в лесной зоне

Таблица 16

**Индикаторы некоторых инженерно-геологических условий  
на равнинах северо-запада европейской части ССР**

Физиономические компоненты ландшафта	Деципиентные компоненты ландшафта
<b>Зандровые и аллювиальные равнины</b>	
1. Пологоволнистые возвышенные участки, осложненные мелкой бугристостью, занятые сосновыми лесами: лишайниковые и злаковыми (овсянцевыми). Присутствуют: вереск, брусника, овсяница, лишайники и зеленые мхи. Части участки, лишенные растений	Пески от грубо- до тонкозернистых, часто слоистые. Почвы скрыто-подзолистые, песчаные. Глубина залегания грунтовых вод 5—10 м. Развиты процессы дефляции песков
2. Пологие всхолмления с превышениями не более 5 м, с крутизной склонов от 1 до 3—5°, с характерными мелкими западинами, покрытыми влажными лесами — сосновками: молиниевые, брусничные, черничные	Пески разнозернистые, слоистые, ожелезненные. Холмы сложены хорошо отсортированными песками. Почвы подзолистые и дерново-подзолистые. Уровень грунтовых вод 1—5 м
3. Обширные замкнутые понижения, занятые заболоченными сосновыми кустарничково-сфагновыми, а по периферии сосновыми голубично-долгомошными или елово-сосновыми долгомошными лесами. Высота сосны не превышает 12 м	Торф мощностью от 2 до 3—8 м, подстилаемый песками и супесями. Почвы торфяные и торфяно-подзолистые, характерна медиум-залежь. Торф высокой степени разложенностии. Глубина залегания грунтовых вод не более 2 м: в мочажинах — на поверхности.
Обширные замкнутые понижения (древние озерные котловины) площадью от 50 до 600 га с верховыми болотными массивами. Преобладают грядово-мочажинные кустарничково-пушицово-шнейхцериево-сфагновые и сфагново-кустарничковые болота	Торф мощностью 3—6 м, подстилаемый песками, суглинками, реже глинами. Почвы торфяные. Торф верхового типа. Характерна фускум-залежь (особенно в центре болота). Грунтовые воды залегают на глубине 2—5 м
<b>Материковые дюны</b>	
1. Гряды и холмы с плавными, мягкими очертаниями, преимущественно ориентированные в одном направлении. Высота их от 3—5 до 20—30 м, ширина от 20—30 до 50—100 м, длина от 0,03 до 0,5 км; склоны, лишенные растительности, имеют крутизну от 5—7 до 25—30°. Вершины покрыты:	Пески мелко-среднезернистые, хорошо отсортированные, пылеватые. Почвы скрытоподзолистые и подзолистые. Грунтовые воды на глубине 5 м и более. Развит процесс дефляции песков
a) сосновками лишайниковые и овсянцевые; на склонах сосновки зелено-мощные, брусничные, черничные. В покрове — вереск, овсяница, брусника, черника, герань, седмичник;	
b) сухие луга, мелкотравные, с частыми ячейками, лишенными растений	

Продолжение табл. 16

Физиономические компоненты ландшафта	Деципиентные компоненты ландшафта
<b>Донно-моренные равнины</b>	
1. Пологохолмистые и пологоволнистые равнины, где плоские участки, пологие, всхолмленные, и понижения чередуются без определенной ориентировки, прорезанные древними ложбинами стока. Крутизна склонов от 1—3 до 5—8° (иногда до 10—15°). Большие территории распаханы. Фрагменты естественной растительности представлены разными типами елово-сосновых и дубово-сосновых черничных лесов, а также березово-еловыми, грабово-дубовыми и дубовыми лесами с травяным покровом и зарослями ежевики	Суглинки валунные; глины; супеси, подстилаемые суглинками. Мощность морены сильно варьирует. Почвы серые, лесные, оподзоленные, дерново-подзолистые, подзолистые. Грунтовые воды на глубине от 1—3 до 5—10 м. Иногда верховодка на глубине 1—3 м. Развиты эрозионные процессы
2. Обширные понижения и впадины, имеющие пологие склоны и небольшую водосборную площадь.	
Развиты:	
a) низинные травяные и лесные болота: черноольхово-осоковые, березово-пушицово-сфагновые, разнотравно-осоковые и вахтовохвощевые;	Торф мощностью не более 1 м. Подстилается суглинком. Характерны лесо-толпяные залежи. Почвы, торфяные и иловато-торфяные. Глубина залегания грунтовых вод от 0 до 1 м.
b) верховые болота имеют длинные плоские (2—5 м) надболотные склоны, береговая линия малоизвестна; площадь их колеблется от 100 до 1000 га. Некоторые окружены лаггом. В растительном покрове — сфагновые мхи и пушица	Торф, хорошо разложившийся, верхового типа. Характерна фускум-залежь, реже медиум-залежь. Мощность торфянников достигает 9 м
<b>Переработанные эрозией возвышенные моренные равнины</b>	
1. Крупногрядово-холмистая равнина. Холмы округлых очертаний высотой до 30 м. Присутствуют различные формы мелкого эрозионного расщепления. Характерна сплошная распашка и небольшие участки елово-широколиственных лесов	Супесчано-гравелистая морена мощностью до 200 м. Почвы подзолистые, супесчаные. Грунтовые воды на глубине более 10 м
2. Мелкогрядово-холмистая равнина, высота холмов до 10—15 м, крутизна склонов до 10° с овражно-балочным расщеплением и наличием карстовых воронок. Характерна сплошная распашка	Валунные суглинки и супеси на карстующихся карбонатных породах. Почвы супесчаные, дерново-подзолистые. Грунтовые воды на глубине 5—10 м

Продолжение табл. 16

Физиономические компоненты ландшафта	Деципienteные компоненты ландшафта
--------------------------------------	------------------------------------

## Озерные и морские равнины

1. Плоские низменные водораздельные пространства; уклоны их не превышают 5—6° с очень слабым эрозионным расчленением. Покрыты еловыми, дубово-еловыми, елово-березовыми лесами. Широко развиты ельники зеленомошниковые. В покрове — брусника, черника, вереск, голубика, манник, герань, седмичник и др. Характерно значительное хозяйственное освоение

2. Обширные замкнутые понижения и впадины с продолговатой и малоизвилистой береговой линией. Площадь их заболочена и варьирует от сотен до тысяч гектар.

А. Черноольхово-разнотравно-осоковые болота

Б. Верховые березово-пушицево-сфагновые болота с выпуклой поверхностью (до 2 м), у некоторых болот выделяется узкая полоска лагага

3. Ложбины и западины часто покрыты елово-дубово-черноольховыми лесами; щучковыми, разнотравно-щучковыми, разнотравно-ситниковыми и разнотравно-белоусовыми лугами

## Конечно-моренные пояса

1. Гряды и цепи крупных холмов, осложненные мелкой холмистостью, преимущественно широтного направления; с превышениями от 20—30 до 300 м, крутизна склонов от 10 до 25°. Бессистемная разветвленная сеть речек и ручьев. Растительность представлена комплексами сосновых, елово-сосновых, еловых и дубово-еловых травянисто-зеленомошных лесов

Продолжение табл. 16

Физиономические компоненты ландшафта	Деципienteные компоненты ландшафта
--------------------------------------	------------------------------------

Суглинки или глины. Горизонтально тонкослоистые, иногда супеси, подстилаемые суглинком. Почвы подзолистые, оподзоленные. Уровень грунтовых вод на глубине 5—10 м

А. Торф низинного типа мощностью от 0,5 до 1,5 м. Почвы торфяные и иловато-болотные. Торф со слабой разложленностью. Грунтовые воды встречаются на глубине до 1 м

Б. Торф верхового типа, характерна фукусум-залежь. Мощность достигает иногда 8 м. Характерна фукусум-залежь в центре болота, по периферии — низинные лесо-топяные залежи. Почвы — торфяники

Суглинки или супеси, перекрытые иногда торфом мощностью до 30 см. Простирание ложбин подчеркивает простирание перекрытых известняков. Почвы оподзоленные, глеевые и торфянисто-глеевые. Грунтовые воды залегают на глубине 0,5—3 м (до 5 м), иногда формируется верховодка

Средние или тяжелые супеси, подстилаемые на глубине 1—3 м суглинками; супеси с суглинистыми прослойками. Суглинки часто бесструктурные, валунные. Почвы подзолистые или сильнооподзоленные. Грунтовые воды на глубине 5—10 м, а на глубине 1,5—3 м — линзы верховодки

2. Холмистая равнина с редким эрозионным расчленением, осложненная мелкой холмистостью. Вершины холмов плавные, превышения 10—15 м. Крутизна склонов от 5—7° до 15°. Растительность представлена комплексами сосново-еловых, чернично-зеленомошных, елово-долгомошных и осиново-березовых лесов, травяных, черничных лесов. Характерно активное хозяйственное освоение

3. Плоские понижения между холмами и грядами. Понижения различных очертаний и размеров с комплексами еловых травяных, мшистых, смытевых, кисличных лесов и березово-осиновых, мятылково-разнотравных лесов. Доминируют в травостое: повилика, мятылик, крапива, хвощ, фиалка, мятылик, крапива, хвощ, седмичник, ожика волосистая

4. Обширные замкнутые понижения и определенно ориентированные древние ложбины стока, занятые озерами и болотами низинного типа. В основном развиты осоково-сфагновые болота с единичными экземплярами берески и ивы. В покрове — осока вздутия и пущица многоколосковая

Продолжение табл. 16

Физиономические компоненты ландшафта	Деципienteные компоненты ландшафта
--------------------------------------	------------------------------------

Суглинки и супеси валунные. Супесь с включением гальки и гравия. Почвы дерново-подзолистые супесчаные. Грунтовые воды на глубине 3—5 м. Местами распространена верховодка

Супеси средние и легкие, подстилаемые на глубине 1,0—1,5 м суглинками. Суглинки средние, иногда перекрыты торфом до 30 см. Почвы подзолистые, супесчано-суглинистые, реже торфянисто-глеевые. Грунтовые воды наблюдаются на глубине от 1,0 до 3 м

Торф низинного типа мощностью более 0,5 м, подстилаемый супесями и валунными суглинками. Почвы торфяные. Грунтовые воды — на глубине 0,0—0,5 м

## Долины крупных рек

1. Пойма плоская или полого-волнистая, превышения до 3—5 м с ветерами блуждания, старицами и песчаными отмелами, с комплексами ясенево-дубовых лесов, ивняков, злаковых, злаково-разнотравных и разнотравно-маниковых лугов и тростниковых, рогозовых, манниковых, разнотравно-осоковых, осоковых, пушицево-осоковых и черноольховых болот

2. Первые надпойменные террасы пологоволнистые, осложненные золовыми холмами и ложбинами временных водотоков с комплексами сосновых и елово-сосновых лесов (злаковые, злаково-вересковые, чернично-мшистые, мшистые) и дубово-сосновых, бруснично-зеленомошных, елово-дубовых (с грабом) травянистых лесов

Песчано-глинистые и галечниковые отложения. Почвы лугово-дерновые, дерновые, аллювиальные. Грунтовые воды залегают на глубине 0—3 м

Торф мощностью до 0,5 м, подстилаемый песками аллювиальными. Почвы лугово-болотные. Грунтовые воды на глубине 1,0—1,5 м

Пески обычно слоистые с прослойками супесей и суглинков; супеси и суглинки. Почвы слабоподзолистые и скрытоподзолистые. Грунтовые воды встречены на глубине 3—10 м

Продолжение табл. 16

Физиономические компоненты ландшафта	Деципнентные компоненты ландшафта
Понижения и ложбины стока с глубиной вреза до 3 м, с заболоченными лугами и низинными болотами. Луга разнотравно-щучковые и белоусовые с влаголюбивым разнотравьем	Отложения разного литологического состава: песок переслаивается вязкой глиной с большим количеством гнезд песка и суглинка. Торф мощностью 0,20 м
Низинные болота — в травяном покрове развиты осока, ситник, лютик едкий. Мохово-лишайниковый покров отсутствует	Почвы торфянисто-глеевые и дерново-глеевые. Грунтовые воды прослеживаются на глубине 0,5—1,0 м
Вторые надпойменные террасы пологохолмистые с превышениями 5—10 м, с крутизной склонов 10—15°, осложненные дюнами с комплексами, в которых сочетаются:	Торф низинного типа, плохо разложенный, мощностью 0,20—0,50 м; подстилается аллювиальными песками. Почвы торфяно-глеевые. Грунтовые воды — на глубине 0,5—1,0 м
a) сосновые леса вересково-лишайниковые, вересковые, мшисто-белоусовые, мшистые;	Пески обычно слоистые, хорошо отсортированные, с примесью глины. Почвы среднеподзолистые, песчаные. Грунтовые воды на глубине ниже 5 м. Заметны следы разведения песков
б) обширные замкнутые понижения с низинными болотами (осоковые и хвоцево-осоковые)	Торф плохо раложившийся, низинного типа мощностью 0,5—1,0 м. Подстилается песком. Почвы торфянисто-глеевые и торфяные. Грунтовые воды наблюдаются на глубине 0—1 м

АФС крупнопятнистую структуру ландшафтного рисунка, образованную чередованием расплывчатых пятен болотных массивов ненодородного серого фототона и залесенных участков с зернистым аэрофоторисунком. Часто встречаются пашни; их присутствие усложняет анализ АФС.

Выше в табл. 16, составленной как по личным наблюдениям, так и по литературным данным систематизированы сведения о главнейших индикаторах.

Настоящая таблица не исчерпывает всех индикаторов. В ней указаны лишь наиболее распространенные и своеобразные из них. Некоторые ландшафтные индикаторы, в той или иной степени сходные с описанными ранее, повторно не указаны. Это касается прежде всего камов, озов и друмлинов.

## АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЛЕСО-БОЛОТНЫХ РАВНИНАХ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Для лесных ландшафтов юга Западно-Сибирской низменности наиболее физиономичными ПТК, хорошо различимыми на аэрофотоснимках среднего и крупного масштаба, являются различные типы травяных и облесенных болот, в разной степени заболоченных и реже незаболоченных лесов.

Ниже кратко рассмотрены характер изображения на АФС эктоярусов главнейших ПТК по отдельным районам и приведены индикационные схемы для оценки некоторых инженерно-геологических условий. Мы выделяем в данном регионе следующие крупные районы с своеобразными индикационными условиями: 1) Обь-Иртышское междуречье, 2) Южное Васюганье и 3) долины крупных рек.

Обь-Иртышское междуречье характеризуется плоскоравнинным рельефом, развитием березовых лесов и редколесий, разнотравно-злаковых лугов по более возвышенным участкам и низинных болот по понижениям. Несмотря на небольшие перепады относительных превышений рельефа, чередование водораздельных пространств с большим количеством замкнутых понижений обуславливает значительную пестроту гидрогеологических и инженерно-геологических условий территории. Незначительные повышения на плоской равнине, занятые березовыми лесами с пырейными лугами на полянах, создают на АФС темно-серый фототон с аэрофоторисунком в виде крапа, образованного кронами деревьев. Крап плотный, крупный, границы его элементов четкие, поляны видны в виде светлых аморфных пятен. Такие же участки с комплексом низкорослого бересового редколесия и разнотравно-злаковых лугов имеют аэрофотоизображение с нечеткими границами контуров: фототон от светло-серого до темного. Изредка заметен разреженный крап, образованный группами деревьев. Дешифрирование крайне затруднено.

В разной степени заболоченными являются пониженные участки равнин и замкнутые понижения, среди которых можно различить несколько вариантов.

1. Пониженные участки равнин со слабозаболоченными бересово-осиковыми лесами с осокой и тростником. Они различаются на АФС по четким темно-серым крапчатым пятнам нередко округлой формы.

2. Плоские кочковатые днища понижений с крупнокустарниково-тростниково-осиковыми болотами низинного типа. Они создают округлые темно-серые пятна с густым мелким крапом, образованным крупными кустами и наиболее крутыми кочками.

3. Плоские замкнутые понижения с олуговевыми болотами (кочковатые заболоченные луга с разнотравьем и сорняками) образуют рисунки неправильных очертаний с расплывчатыми грани-

**Индикаторы некоторых инженерно-геологических условий  
Обь-Иртышского междуречья**

Физиономические компоненты ПТК	Деципиентные компоненты ПТК
1. Слабоповышенные водораздельные участки плоской равнины с комплексом бересковых лесов, редколесья и разнотравно-злаковых лугов	
А. Слабоволнистые участки плоской равнины, занятые бересковыми лесами с пырейными лугами на полянах. Рельеф плоский, с редкими заливами, относительные превышения до 3 м	A. Лёссовидные суглинки. Почвы серые, лесные, оподзоленные. Грунтовые воды пресные (0,5—1 г/л), гидрокарбонатные кальциево-магниевые и магниево-натриевые на глубине 2—4 м. Из современных экзогенных процессов развиты эрозия и просадки
Б. Слабоволнистые участки плоской равнины с комплексом берескового редколесья и разнотравно-злаковых лугов. Рельеф плоский, относительные превышения до 5 м. Древостой из берески, редко осины; луга пырейные, пыреино-вейниковые, лисихвостовые с богатым разнотравьем	B. Субаэральные лёссовидные суглинки. Почвы — черноземы выщелоченные, слабо солонцеватые. Грунтовые воды пресные (0,5—1 г/л), гидрокарбонатные натриево-магниевые на глубине 2—2,5 м. Из экзогенных процессов развиты слабые просадки и эрозия
2. Пониженные участки и замкнутые понижения, в различной степени заболоченные:	
А. Пониженные участки равнины со слабозаболоченными бересково-осиковыми лесами с осокой и тростником. Рельеф плоский, относительные превышения до 1 м	A. Глины и суглинки. Почвы торфяно-глеевые, торфяные; торф мощностью от 1 до 2,5 м. Грунтовые воды слабосолоноватые (до 2 г/л), гидрокарбонатно-сульфатные, натриево-магниево-кальциевые на глубине 0,5 м. Развито заболачивание и накопление торфа
Б. Плоские кочковатые днища понижений с кустарниково-тростниково-осиковыми болотами низинного типа. Кочки высотой 0,2—0,5 м	B. Озерные илы и сапропели. Почвы торфяные, торфяно-болотные, болотные; торф мощностью до 2 м. Грунтовые воды пресные (до 1 г/л), гидрокарбонатные, натриево-магниево-кальциевые на глубине 0,5 м
В. Плоские замкнутые понижения с олуговыми болотами (кочковатые заболоченные луга с разнотравьем и сорняками). Рельеф плоский, поверхность кочковатая, кочки высотой 0,3—0,5 м	В. Глины и суглинки. Почвы лугово-болотные, болотные на глинах и суглинках. Грунтовые воды солоноватые (1—3 г/л), гидрокарбонатные, натриевые на глубине 0,5—1,0 м. Из экзогенных процессов в сухие периоды развито слабое засоление, во влажные — вторичное заболачивание
Г. Замкнутые плоские понижения с сосново-кустарниковыми-сфагновыми верховыми болотами. Рельеф кочковатый выпуклый, с относительными превышениями до 1 м	Г. Илы и сапропели. Почвы торфяно-болотные и торфяные. Торф мощностью до 12 м. Воды пресные (до 0,5 г/л), гидрокарбонатные кальциево-натриевые на глубине 0,1—0,3 м. Идет процесс торфонакопления

тами, фототоп от светлого до серого, структура неясно пятнистая.

4. Замкнутые плоские понижения с сосново-кустарниковово-сфагновыми верховыми болотами. Очень хорошо они дешифрируются по округлым или овальным темно-серым контурам с четкими границами и плотной крапчатой структурой. Под стереоскопом хорошо видны полого-выпуклая поверхность такого болота и извилистые светлые полоски линии стекания. Вокруг болота по границе контура бывает отчетливо выражен лагг.

Ниже в табл. 17 указано индикационное значение эктоярусов, описанных ПТК.

Для Южного Васюганья характерны избыточное увлажнение и затрудненный сток. Это объясняется вогнутостью поверхности обширных водораздельных пространств. Кроме того, вся территория Васюганского плато располагается в зоне неотектонических опусканий. Все это вместе взятое обуславливает широкое развитие различных типов болот на территории, в разной степени облесенных. Северная и средняя части Васюганья располагаются в криолитозоне, поэтому мы рассматриваем только южную часть плато, где вечная мерзлота отсутствует.

Выделяют две основные группы болот Васюганского массива: 1) осоково-гипновые и 2) сфагновые.

Осоково-гипновые болота занимают значительные площади на южных склонах водоразделов. Отличительная особенность осоково-гипновых болот — отсутствие древесного яруса. Для гряд характерен пышно развитый ярус кустарничков (*Chamae daphne calyculata*, *Ledum palustre*) и покров из зеленых мхов.

Пространства между грядами представляют собой ровную поверхность. Травяной ярус образован осоками (*Carex lasiocarpa*, *C. limosa*, *C. inflata*). Болота сложены низинной осоковой залежью мощностью 1—2 м. Торфяная залежь подстилается голубовато-серыми тяжелыми суглинками, насыщенными карбонатами. Осоково-гипновые болота на гребне водораздела, смыкаясь, образуют грядово-мочажинный комплекс с сильнообводненными мочажинами. Мощность торфяной залежи увеличивается до 3—4 м. Отмечается вытеснение травянистых растений гидрофильными мхами.

Сфагновые болота, развитые на плоском водоразделе Васюганья, образуются на выщелоченных грунтах. Они формируют мочажинно-озерные комплексы с подушками из отмирающих сфагновых мхов (*Sphagnum fuscum*, *Sph. papillosum*) и безлесными грядами. Мочажинные пространства заняты *Sph. balticum*, травяной покров разрежен и образован кочками пушицы и шейхции. Торф сфагновый, слаборазложившийся и малозольный, мощностью до 6 м. Питание атмосферное. К более дренированным участкам приурочены сосново-сфагновые и сосново-кустарниковово-сфагновые болота со *Sph. magellanicum*. Они имеют сравнительно неглубокую залежь (до 2—2,5 м), сложенную лесо-топяными торфами, возникшими на месте заболоченных лесов с очень бедными выщелоченными грунтами. На восточных склонах Васюганья раз-

виты своеобразные осоково-сфагновые переходные болота, имеющие двухметровую осоковую низинную или переходную топяную залежь мощностью до 2—2,5 м.

Таким образом описанные болотные сообщества могут использоваться как индикаторы определенного вида строения залежи.

Для индикации гидрологических и инженерно-геологических условий Южного Васюганья в более широком смысле нами использовались комплексные индикаторы, включающие не только типы болот, но и заболоченные леса.

1. Пологовалистая слабодренированная равнина с комплексом березовых лесов, низинных травяных болот и суходольных лугов.

А. Слабоволнистые участки равнины с березовыми лесами, редколесьями и разнотравно-злаковыми лугами. На аэрофотоснимках они образуют серый и темно-серый фототон с плотным крупным крапом, образованным кронами деревьев; редколесья создают разреженный темный крап на сером фоне, луга дают серый и светло-серый тон аморфной структуры.

Б. Обширные плоские пониженные участки водораздельной равнины, занятые низинными травяными болотами (осоки, тростники, ивняки). Дешифрируются они по положению в центре водораздельных пространств, образуя неяснопятнистый рисунок серого тона, черными пятнами обозначаются открытые водные поверхности. Кустарники опознаются по мелкому сгруппированному крапу. На крупномасштабных снимках иногда в виде зернистости видна кочковатость.

2. Плоская пониженная равнина, занятая комплексом травяных и облесенных болот, березовых лесов и редколесий, занимает обычно более низкие гипсометрические уровни.

А. Плоские участки равнины с суходольными березовыми и березово-осиновыми лесами, с мелкими участками разнотравно-злаковых лугов дешифрируются на аэрофотоснимках по сгущенному темному крапу; границы четкие. Участки лугов обозначаются мелкими светлыми пятнами неправильной формы. Иногда по границе леса видна узкая светлая полоса осолоделых почв.

Б. Плоские слабодренированные участки равнины с заболоченными березово-ольховыми лесами и редколесьями обозначаются на снимках темно-серыми контурами неправильной формы с нечеткими границами. Кроны берез и ольхи образуют неравномерный крап, березы дают крап более плотный и крупный, ольха — более рыхлый и мелкий. Под стереоскопом можно увидеть и разницу в высоте древостоя: березы, как правило, выше. Редколесья обозначаются разреженным крапом. Заболоченность лесов обуславливает пятнистость контуров.

В. Участки верховых сосново-кустарничково-сфагновых болот с выпуклой поверхностью. Дешифрируются по четко ограниченным серым крапчатым контурам. Под стереоскопом хорошо видна выпуклость поверхности; извилистый рисунок имеют линии сте-

кания. Часто в пределах выпуклого болота видны черные пятна озерков.

Ниже приводится (табл. 18) обобщенная индикационная схема для Южного Васюганья.

Четко различаются на АФС долины крупных рек по своим линейно-извилистым очертаниям, по хорошо выраженным бортам русла под стереоскопом — по различию гипсометрических уровней пойм и террас. При этом нужно отметить, что надпойменные террасы имеют небольшие превышения одна над другой, а, кроме того, ландшафты, располагающиеся на террасах разного уровня, практически мало отличаются друг от друга и внешний их облик указывает на довольно сходные инженерно-геологические условия. Поэтому нецелесообразно рассматривать ландшафты для каждой надпойменной террасы отдельно. Ниже ландшафты террас рассматриваются по их принадлежности к различным природным подзонам.

Плоские поверхности низких и высоких пойм на всем протяжении долин крупных рек в пределах лесной зоны имеют одинаковый облик с очень незначительными вариациями растительности, изменяющейся с севера на юг.

А. Выпуклые прирусовые валы с комплексом разнотравно-злаковых лугов и березовых редколесий на аэрофотоснимках видны в виде полосы различной ширины, протягивающейся вдоль русла серого и светло-серого фототона неяснопятнистой структуры с отдельными крапинами; границы расплывчатые, дешифрируются под стереоскопом по относительному превышению над окружающей местностью.

Б. Плоские поверхности с луговой растительностью в сочетании с березово-осоковыми и сосново-березово-кустарничковыми низинными болотами имеют на аэрофотоснимках фототон от светло- до темно-серого, иногда с черными пятнами открытой водной поверхности. Кроны деревьев (березы, сосны) образуют плотный темный крап. Границы преимущественно четкие. Надпойменные террасы долин крупных рек подзоны южной тайги можно подразделить на следующие три группы.

А. Краевые плоские или приподнятые участки террас с комплексом массивов смешанных и широколиственных лесов, мелких участков лугов и пашен. Дешифрируются они по темно-серому фототону, по сочетанию участков с расплывчатыми границами с крапчатой структурой, образованной кронами деревьев и кустарников и светлых участков правильной геометрической формы с аморфной структурой (пашни и сенокосы).

Б. Вогнутые заболоченные понижения вдоль тыловых швов надпойменных террас с облесенными переходными и травяными низинными болотами на кочковатой поверхности (елово-березовыми, сосново-березовыми, осоково-тростниками, осоковыми).

На аэрофотоснимках они образуют фототон от светло- до темно-серого с неяснопятнистой структурой (травяные болота) или

Таблица 18

Индикаторы некоторых инженерно-геологических условий  
Южного Васюганья

Физиономические компоненты ПТК	Децизионные компоненты ПТК
1. Пологовалистая слабодренированная равнина с комплексом березовых лесов, низинных травяных и облесенных болот и суходольных лугов	Делювиально-аллювиальные верхнечетвертичные и современные отложения
A. Слабоволнистые участки равнины с березовыми лесами, редколесьями и разнотравно-злаковыми лугами. Рельеф равнинный с относительными превышениями от 1 до 5 м, редкие и мелкие западины. Леса березовые с примесью осины, в подлеске шиповник, игра, черемуха, ольха серая, в покрове широкотравье и мхи. Луга овсяницевые, тимофеевочные, пырейные, мятыковые	A. Супеси и суглинки. Почвы преобладают лесные осоледелые, редко оторфованные, под лугами — черноземы выщелоченные и луговые, развитые на делювиально-аллювиальных верхнечетвертичных и современных отложениях. Грунтовые воды пресные (от 0,5 до 1,5 г/л), гидрокарбонатные кальциево-магниевые на глубине от 3—5 до 10 м (под лугами). Из современных процессов развиты эрозия, слабая суффозия, редко — слабое заболачивание
B. Обширные плоские пониженные участки водораздельной равнины, занятые низинными травяными болотами (осоки, тростники, ивняк). Рельеф плоский, пониженный, с относительными превышениями 0,5—1,0 м	B. Супеси и суглинки. Почвы торфяно-глеевые, торфяно-болотные на делювиально-верхнечетвертичных и современных отложениях. Грунтовые воды пресные (до 0,5 г/л), чаще всего с поверхности. Наблюдаются различные стадии развития низинного болота.
2. Плоская пониженная равнина, занятая комплексом травяных и облесенных болот, березовых лесов и редколесий	Озерно-аллювиальные среднечетвертичные суглинки
A. Плоские участки равнины с суходольными березовыми и березово-осиновыми лесами, с мелкими участками разнотравно-злаковых лугов. Рельеф плоский, с редкими западинами, относительные превышения 1—3 м	A. Суглинки. Почвы серые, лесные, осоледелые, дерново-подзолистые, оподзоленные черноземы на озерно-аллювиальных среднечетвертичных толщах. Грунтовые воды на глубине 2—5 м. Развита эрозия.
B. Плоские слабодренированные равнины с заболоченными березово-ольховыми лесами и редколесьями. Рельеф плоский, пониженный, относительные превышения 1—2 м	B. Суглинки. Почвы торфяно-болотные, серые лесные на озерно-аллювиальных среднечетвертичных толщах. Грунтовые воды пресные (1,0—1,5 г/л) на глубине 1—2 м. Развиты слабая эрозия и заболачивание.
В. Участки верховых сосново-кустарничково-сфагновых болот с выпуклой поверхностью. Рельеф кочковато-выпуклый, относительные превышения до 1 м	В. Озерные илы. Почвы торфяно-болотные, торфяные, торф мощностью до 15 м на озерных илах, сапропелях. Грунтовые воды пресные (до 0,1 г/л) с поверхности. Идет процесс торфонакопления

с густым крапом, образованным кронами деревьев (облесенные болота); границы довольно четкие.

В. Вогнутые сильно заболоченные центральные части надпойменных террас с заболоченными смешанными лесами на склонах и комплексом грядово-мочажинных, травяных низинных и облесенных верховых болот на кочковатых днищах. Дешифрируются они по положению в центральных частях надпойменных террас, занимают очень большие площади. Образуют фототон от светлого до темно-серого. Травяные болота с редкой порослью сосны и берцы выглядят пятнистыми полями с редким и мелким крапом. Сгущающийся древостой на пологих склонах дает более плотный и крупный крап. Грядово-мочажинные, наиболее обводненные болота образуют пятнисто-полосчатую структуру; гряды обозначены короткими извилистыми линиями с редким крапом; мочажины более светлые.

Надпойменные террасы подтаежной зоны заболочены в меньшей степени. Здесь выделяются:

а) повышенные участки надпойменных террас с комплексом разнотравно-злаковых лугов (частично распаханных) и березовых колков. Они дешифрируются по серому и темно-серому фототону, где неяснопятнистый аморфный рисунок лугов чередуется с темно-серыми крапчатыми участками колков; на пашнях видны полосы распашки.

б) пониженные участки центральной части надпойменных террас, занятые кочковатыми осоковыми, осоково-тростниками, осоково-вейниковыми, березово-кустарничково-осоковыми низинными болотами. На аэрофотоснимках травянистые необлесенные болота образуют светло-серый и серый фототон пятнистой структуры; кроны берез на облесенных болотах образуют разреженный крап; границы болот довольно четкие. В табл. 19 приведена индикационная схема для крупных речных долин.

Кроме описанных выше индикаторов инженерно-геологических условий выделяются еще две небольшие своеобразные группы индикаторов, распространенные в различных типах лесо-болотных ландшафтов. Это гидрологические индикаторы, т. е. участки открытой водной поверхности, и пирогенные индикаторы — последствия лесных пожаров.

Участки открытой водной поверхности на фоне болот очень отчетливо видны на аэрофотоснимках и могут иметь определенное индикационное значение. Среди них наиболее часто встречаются обводненные мочажины, вторичные озёра и открытые линии стекания. В обводненных мочажинах уровень воды наиболее высок и растения в них погружены под воду. Сливаясь, такие мочажины образуют вторичные озёра с торфяным дном и торфяными берегами. Скопление обводненных мочажин и вторичных озёрков является индикатором наиболее обводненной части болота и позволяет дешифрировать ее на аэрофотоснимках. Чаще всего они концентрируются в лагре (наиболее увлажненной окраинной части болотного пологовыпуклых торфяников или в самом центре болотного

Таблица 19

**Индикаторы некоторых инженерно-геологических условий лесной зоны юга Западно-Сибирской низменности**

Физиономические компоненты ландшафта	Деципентные компоненты ПТК
Долины крупных рек	
1. Плоские поверхности низких и высоких пойм.	A. Выпуклые прирусловые валы с комплексом разнотравно-злаковых лугов и березовых редколесий, относительные превышения 1,5—2 м
B. Плоские поверхности с луговой растительностью в сочетании с бересково-осоковыми и сосново-березово-кустарничковыми низинными болотами	A. Переслаивание песков, глин и супесей. Почвы аллювиальные на аллювиальных супесях. Грунтовые воды пресные (до 1 г/л) на глубине 1—2 м  B. Почвы аллювиальные, аллювиально-болотные и болотные с мало-мощным (0,5—2 м) торфом. Грунтовые воды пресные (до 0,5 г/л) на глубине от 0,5 до 3 м
2. Надпойменные террасы подзоны южной тайги.	A. Краевые плоские или приподнявшие участки террас с комплексом массивов смешанных и широколиственных лесов, мелких участков лугов и пашен  B. Вогнутые заболоченные понижения вдоль тыловых швов надпойменных террас с облесенными переходными и травяными низинными болотами на кочковатой поверхности (елово-березовыми, осоково-тростниковыми, осоковыми)
B. Вогнутые сильно заболоченные центральные части надпойменных террас с заболоченными смешанными лесами на склонах и комплексом грядово-мочажинных, травяных низинных и облесенных верховых болот на кочковатых днищах	A. Четвертичные суглинки. Почвы серые лесные. Грунтовые воды пресные (до 1 г/л), на глубине 1,5—3 м. Из современных процессов развиты эрозия, редкие просадки, суффозия  B. Аллювиальные глины. Почвы болотные, торфяно-болотные, торфяные на аллювиальных глинах средневерхнечетвертичного возраста. Грунтовые воды пресные (до 0,5 г/л) на глубине 0—0,5 м. Развито зарастание болот древесной растительностью и образование верховых болот  В. Суглинки и глины. Торф от слабо до хорошо разложившегося мощностью до 2,5 м на суглинках и глинах верхнечетвертичного и современного возраста. Грунтовые воды пресные (до 0,1 г/л) преимущественно с поверхности. Процессы развития болот из низинных в верховые
3. Надпойменные террасы подтаежной зоны	A. Субаэральные суглинки, подстилаемые аллювиальными и озерно-болотными глинами. Почвы лугово-черноземные и выщелоченные черноземы под лугами, иногда со слабым засолением, серые лесные под колками. Грунтовые воды пресные (0,5—1 г/л) на глубине 1,5—3,0 м. Развиваются слабая эрозия, слабая суффозия, просадки

Продолжение табл. 19

Физиономические компоненты ландшафта	Деципентные компоненты ПТК
B. Пониженные участки центральной части надпойменных террас, занятых кочковатыми осоковыми, осоково-тростникющими, осоково-вейниковыми, бересово-кустарничково-осоковыми низинными болотами	B. Глины и суглинки. Почвы торфяно-болотные и болотные, с торфом различной степени разложения мощностью до 2 м на субаэральных толщах верхнечетвертичного и современного возраста. Грунтовые воды пресные (0,5—1 г/л) на глубине 0,5—1,0 м. Развиты различные стадии развития болот

массива. На юге Западной Сибири лагги выражены очень слабо или почти отсутствуют. На севере они более часты и хорошо видны на аэрофотоснимках в виде темных замкнутых или полузамкнутых колец по окраине болота. Следует отметить, что лагги заслуживают подробного изучения как области контакта болота с окружающей местностью (из лагга часто вытекают болотные речки и происходит боковая фильтрация и т. д.).

Массовое развитие вторичных озерков на поверхности болота рассматривается как особая, очень поздняя стадия развития пологовыпуклых торфяников (так называемых болот с господством озеркового комплекса). Обычно эта стадия является показателем длительного развития данного болотного массива и позволяет отличить старые торфяники от молодых.

Линиями стекания называются переувлажненные слои торфа, по которым происходит движение воды в торфянике. Е. А. Романова (1961 г.) разработала методику их индикации и дешифрирования. Опыт работы показывает, что при сильной обводненности верховых болот линии стекания обозначаются на аэрофотоснимках в виде узких извилистых ложбин, заполненных водой с цепочкой кочек или торфяных бугров по краям. Такие линии стекания показывают прежде всего направление движения воды в болоте, что позволяет определить ту часть болота, которая наиболее хорошо дренируется естественным путем.

В лесо-болотной зоне Западной Сибири распространены физиономические компоненты ландшафта, связанные с лесными и болотными пожарами. С ними связаны многие географические названия. В результате пожаров, возникающих стихийно или в связи с деятельностью человека, создаются два специфических ландшафта — лесные гари и выгоревшие болота, хорошо различимые на аэрофотоснимках.

Лесные гари на аэрофотоснимках имеют вид участков неправильной формы с расплывчато- пятнистым рисунком, очень неравномерным по фототону (от светло-серого до черного). Лесные га-

ри могут служить индикатором заболачивания, так как после лесного пожара на этих участках резко снижается транспирация и ухудшаются условия аэрации. Со временем гари застают молодой порослью и тогда их можно выделить на аэрофотоснимках по меньшей высоте деревьев и по более мелкому и рыхлому крашу, чем в окружающем лесном массиве.

Выгоревшие болота, особенно облесенные, на ранней стадии своего существования почти неотличимы на аэрофотоснимках от лесных гарей. Хорошо различаются на снимках старые болотные гаря. Это объясняется тем, что торф выгорает неравномерно, в одних местах на большую глубину, чем в других. В результате такого неравномерного выгорания образуется своеобразный микрорельеф. В понижениях его застаивается вода, возникает сеть мелких озерков, которые образуют диффузно-мозаичный рисунок аэрофотоизображения. Такое болото, очевидно, и является индикатором бросовых земель (неудобей), бесперспективных для освоения.

## Глава IV

### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В СЕМИАРИДНЫХ РАВНИННЫХ РАЙОНАХ

#### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ПРЕДЕЛАХ СЕМИАРИДНЫХ РАВНИН, ПОДВЕРГШИХСЯ КОРЕННЫМ АНТРОПОГЕННЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯМ

Семиаридными равнинными регионами следует считать территории, занятые степями и лесостепями или антропогенными ландшафтами, заменившими их. Деятельность человека изменила здесь природные ПТК, что в значительной мере определило специфику применения аэrolандшафтной индикации в этих регионах. В их пределах можно выделить два типа территорий: а) районы интенсивного освоения, где физиономичность ПТК определяется преимущественно рельефом, почвами и следами деятельности человека, при сильнейшей нарушенности естественного растительного покрова и б) районы, хотя и освоенные, но сохранившие в значительной мере свой естественный растительный покров, принимающий участие в формировании облика ПТК.

К территориям, принадлежащим к первому типу, относятся следующие ландшафтные провинции юга европейской части СССР: 1) Приднепровская низменная лесостепная равнина; 2) Тамбовская лесостепная аллювиальная равнина; 3) аллювиальная низменная равнина Заволжья; 4) Азово-Причерноморская низменная равнина; 5) Донско-Волынская возвышенная равнина; 6) Прикубанские степи.

Перечисленные выше ландшафтные провинции объединяются общими особенностями рельефа, почвенного покрова и степенью техногенного воздействия. К ним относятся обширные плоские, слабовыпуклые, наклонные междуречья, расчлененные эрозионные и западинные равнины, а также бугристо-грядовые, холмистые поверхности аллювиальных террас крупных рек. Для этих территорий характерны широкое распространение западинного и эрозионного рельефа с преобладанием черноземных почв на лёссовых суглинках, а также почти повсеместная распашка и сведение естественного растительного покрова. Некоторое исключение представляют фитофизиономичные территории, фрагментарно встречающиеся в долинах рек, получившие название «долинных степей» и сохранившие естественную растительность.

Причиной глубокого антропогенного преобразования этого типа территорий является характер хозяйственной деятельности человека, который занимался здесь преимущественно земледелием. Вследствие этого большая часть площади здесь распахана и из естественных физиономических компонентов ПТК наиболее сохранился рельеф. Это придает геоморфологическим индикаторам большое значение. Почвы, которые в условиях обычных, ненарушенных ПТК, скрыты естественной растительностью, становятся здесь физиономическими компонентами в те сезоны, когда произведена распашка, но всходы культурных растений еще не покрыли поверхность поля. Большое физиономическое значение приобретают посевы (их сомкнутость и вегетативная мощность), а также различные антропогенные элементы ПТК (карьеры, откосы насыпей, искусственные водоемы и т. д.). В целях аэrolандшафтной индикации данный тип территории может быть разделен на следующие подтипы: а) западинные равнины; б) эрозионные и эрозионно-аккумулятивные равнины; в) аккумулятивные равнины речных террас; г) оползневые склоны долин рек, морских побережий и водохранилищ. Ниже мы рассматриваем каждый из них в аэrolандшафтно-индикационном отношении.

Наиболее ярко выраженной физиономичностью, облегчающей индикацию, обладают западинные равнины, распространенные почти повсеместно по югу и в средней полосе европейской части СССР. Наибольшее значение при индикационном дешифрировании получают западинные микрокомплексы междуречий. К ним отчасти близки и западинные комплексы террас речных долин, вследствие чего мы рассмотрим их вместе. На аэрофотоснимках западинные микрокомплексы опознаются по расплывчатому или довольно четко обозначенному темно-серому, пятнистому или мозаичному рисунку почвенного покрова, состоящего из сочетания луговых, лугово-болотных, солонцеватых, солончаковатых, черноземовидных и деградированных почв (рис. 20), особенно хорошо заметного на свежих распашках.

Внешние различия степных западин особенно четко наблюдаются в процессе наземных или аэровизуальных наблюдений. Благодаря этим наблюдениям можно проследить изменение площадей, протяженность в поперечнике, глубину и общее строение западин. В районах орошения земель Курской, Воронежской и Тамбовской областей широким распространением пользуются степные блюдца, расположенные на междуречьях и аллювиальных террасах рек. По внешним признакам эти блюдца можно подразделить на несколько групп: 1) блюдца террас, имеющие округлую форму размером 40—45 м в поперечнике и глубину 1,5—1,7 м с вогнутым дном, кочковатым микрорельефом и со следами заболоченности; 2) блюдца на междуречье в виде овальных западин размером 40—70 м в поперечнике, с хорошо выраженным уступами склонов глубиной до 3 м, с кочковатым рельефом, заросшие осокой; 3) блюдца на междуречьях размером в поперечнике от 100 до

120 м, глубиной до 2 м с луговой разнотравно-злаковой растительностью или со сгущенными посевами. Каждая из перечисленных выше групп степных блюдца имеет определенное индикационное значение. Прежде всего, как отмечает А. С. Рябченков (1956 г.), эти формы тесно сопряжены с историей формирования речных долин, а процесс зарождения и развития блюдцеобразования связан с переходом наносов из текучей консистенции в пластичную и твердую в ходе усыхания. Блюдца первой группы являются индикаторами эрозионных котлов в поймах рек и аллювиальных отложений; блюдца второй группы — индикаторами древних форм карстовых воронок, заполненных слоистой толщей делювиальных отложений; блюдца третьей группы — индикаторами древних эрозионных форм, заполненных делювиальными суглинками.

В большинстве районов Среднего Поволжья, на юге Украины, в Кубанской низменности западинные формы рельефа тесно связаны с суффозионно-карстовыми процессами. На территории Причерноморья западинные равнины являются поверхностями накопления атмосферных осадков и областями питания грунтовых вод. Процессы аккумуляции поверхностных вод и инфильтрация грунтовых вод определили формирование под степными западинами своеобразных отложений и образование сезонных и постоянных линз грунтовых вод, залегающих на различной глубине от поверхности и обладающих пестрой минерализацией и непостоянным химическим составом. На территории юга Причерноморья распространены западинные микрокомплексы простого и сложного строения из микроформ различного генезиса (поды). Эти микрокомплексы являются индикаторами ряда инженерно-геологических особенностей подовых отложений и образований. Например, крупные поды глубиной более 5 м, обладающие поясной или мозаичной структурой аэрофотоизображения, являются индикаторами оглеения на всю толщу подовых отложений (8—10 м). Небольшие поды глубиной до 3—5 м с пятнистой комплексностью аэрофотоизображения, зависящей от комбинаций гумусированных в разной степени почв, обладают свойствами индикатора оглеенных пород незначительной мощности, расположенных близко от дневной поверхности (выше первого от поверхности горизонта лесса) и водозаборные поверхности

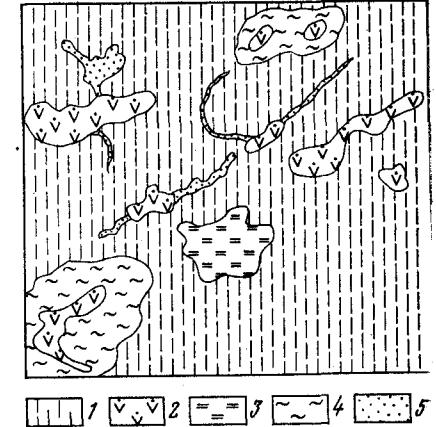


Рис. 20. Лесовые равнины, покрытые лугово-кустарниковой и полынно-злаковой растительностью:

1 — лесовая, равнина; 2 — степные западины глубиной более 3 м; 3 — то же, глубиной до 1 м; 4 — водозаборные поверхности; 5 — ложбины стока. Индицируют пресные или слабосоленые линзы грунтовых вод на глубине 1—3 м от поверхности

упора для верховодки хлоридно-сульфатного или сульфатно-хлоридного типа минерализации при высоком значении последней (до 10 г/л). Западины глубиной до 1 м общей площадью несколько десятков квадратных метров индицируют слабое протекание процесса оглеения и временное скопление почвенных вод.

На территориях Поволжья большое индикационное значение для оценки инженерно-геологических условий имеют поверхности с развитием открытого карста. Наиболее ценные сведения об индикационном значении карста можно найти в работах А. С. Баркова, А. В. Ступишина, Д. С. Соколова и др. Благодаря работам этих исследователей установлено, что карст является индикатором условий трещиноватости пород. По данным А. В. Ступишина (1967 г.), крупные провалы, слившиеся в систему решетки, индицируют направления преобладающей трещиноватости. Карстовые области в Среднем Поволжье обычно совпадают с тектоническими зонами плакантиклинальных поднятий. По ряду наблюдений установлено, что карстовые воронки являются прямыми индикаторами положительных структур третьего порядка. Размеры этих структур, как указывает А. В. Ступишин, варьируют от 5 до 10 км при ширине от 3 до 7 км и высоте от 20 до 50 м и больше. Карстовые воронки в ряде районов имеют гидроиндикационное значение, так как они являются участками инфильтрации атмосферных вод через толщу лёссовых отложений. Индикационными признаками такого рода воронок служат диаметр, глубина и крутизна склонов, а также объем воронок. Наиболее достоверными индикаторами инфильтрации атмосферных вод в карстующиеся породы через естественные фильтры являются воронки чашевидной и конусовидной форм диаметром от 15 до 120 м при глубинах от 0,6 до 35,4 м и крутизне склонов от 4 до 42°. В зависимости от способа расположения такого рода форм представляется возможность индицировать мощность перекрытия песчаным аллювием закарстованных карбонатных пород.

Эрозионные и эрозионно-аккумулятивные равнины занимают значительные площади на территории европейской части СССР. Для них характерны различные рисунки эрозионных форм, густота и глубина врезов, которые сформировались на протяжении плеистоцен-голоценового времени в толще лёссовидных суглинков, залегающих на различных по составу коренных породах. Поверхности с эрозионными формами легко опознаются на аэрофотоснимках и на местности. По данным А. И. Барановой (1967 г.) и наблюдениям автора, на территории степных районов эрозионные формы можно опознавать по следующим дешифровочным признаком.

А. Ложбины — это линейные, открытые с одной стороны, понижения. Слоны ложбин не имеют четкой бровки и незаметно переходят в прилегающие участки водосборов. Крутизна склонов не превышает 3—8°, ширина ложбин равна 4—5 м, глубина колеблется от 0,3 до 1,5—2 м.

Аэрофотоизображение ложбин: тон темный и светлый. Темный наблюдается в условиях сохранения долинных степей или распространения мощного горизонта гумуса, а также сильного поверхностного увлажнения. При малой мощности гумусового горизонта фототон — светлый. В зависимости от геологических условий развития ложбины меняют очертания в плане: широкие, узкие, разветвленные.

Б. Лощины — это линейная форма рельефа, у которой более высокие и крутые склоны и четко выраженная бровка. Ширина в среднем равна 5—10 м. Днище пологовогнутое, русло отсутствует. Крутизна склонов 15—30°.

Аэрофотоизображение лощин сходно с изображением ложбин, но отличается четкостью темных и светлых тонов за счет большего светового контраста, который возникает с увеличением высоты и крутизны склонов.

В. Балка — это зрелая форма развития эрозионного процесса. Характерной особенностью балок является сухое меандрирующее русло. Размеры балок: длина — несколько километров, ширина — до нескольких десятков метров, глубина не менее 10—15 м. Слоны балок террасированы. Угол балочных склонов равен 13—15°.

Аэрофотоизображение балок характеризуется сложными сочетаниями пятен различного фототона и формы, в плане разграниченных между собой линейным или ветвистым темным изображением русла водотока. Темные пятна часто соответствуют низким уровням балок и характеризуют старичные понижения на балочной пойме. Освещенные фототона обычно отвечают изображению склонов и балочных террасам второго уровня. Светлый фон отражает лёссовидные суглинки склонов и покровные делювиальные суглинки поверхностей террас. Довольно часто светлые пятна могут располагаться по днищу в верховье балки. В этом случае светлые и темно-серые фототона отвечают условиям распространения растительных сообществ. Светлые — полынные сообщества, темные — лугово-степные, с разнотравьем и ковылями.

Выше охарактеризованные флювиальные формы рельефа можно рассматривать индикаторами литологии горных пород, залегающих под толщёй лёссовидных суглинков. Так, в районах Азово-Причерноморской низменности на лёссовых равнинах с залеганием известняков на глубине 3—5 м рисунок эрозионной сети имеет древовидные очертания, а при значительной мощности лёссовидных суглинков и подстилающих их глин он становится ланцетовидным. Аллювиальные пески в этом же районе характеризуются гребневидным рисунком (рис. 21—24).

Флювиальные формы в условиях сухих степей являются индикаторами зон разгрузки грунтовых и подземных вод, приуроченных к толщам коренных пород. Наиболее достоверным индикатором этого явления служат овраги дендритового рисунка и крупные балки лопастных очертаний. Индикационным признаком водоизмещения обычно является влаголюбивая растительность, распространенная на делювиальных склонах. В районах Причерно-

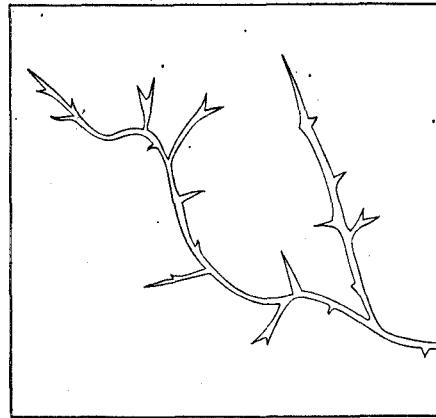


Рис. 21. Характерная форма овражно-балочной сети в лёссовых породах большой мощности

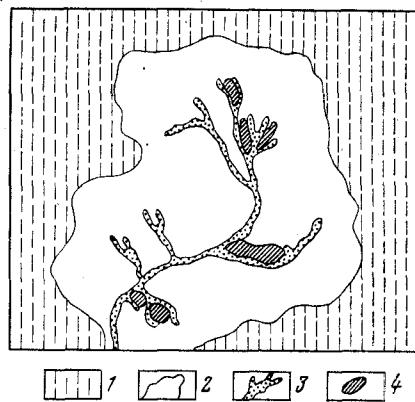


Рис. 22. Характерная форма овражно-балочного расчленения:

1 — лёссовые породы, подстилаемые песками и мергелистыми песчаниками; 2 — водосборная поверхность оврага; 3 — его днище; 4 — выходы коренных пород

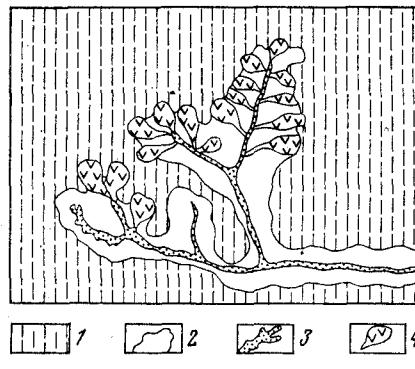


Рис. 23. Ветвистая форма оврага, распространенная в условиях развития лёссовых пород, подстилаемых песками: 1 — лёссовая равнина; 2 — овраг; 3 — выполненное днище; 4 — ложкообразные микроводосборы

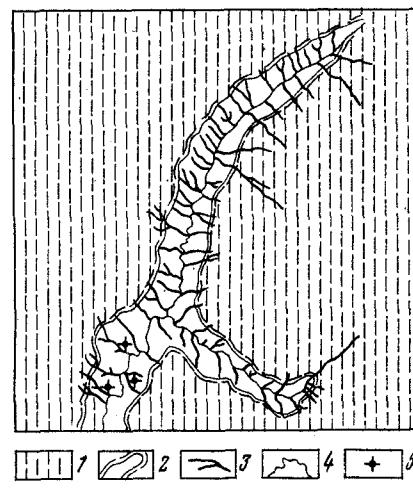


Рис. 24. Характерная форма овражной сети на участке выхода известняков, перекрытых с поверхности лёссовидными суглинками: 1 — лёссовая равнина; 2 — овраг; 3 — водотоки; 4 — тальвег; 5 — мочажины

морья типичными представителями растений, поселяющихся у родников и мочажин, являются сообщества осок, камыша озёрного и тростника. В некоторых случаях при выходах солёных вод встречаются группировки сочных солянок, кермека Гмелина, прибрежницы и ажрека. Иногда у родников высокого дебита с капитажом наблюдаются мелкие рощи из лоха серебристого, шиповника и солдаки голой.

Индикационное значение флювиальных форм не ограничивается естественными взаимосвязями с условиями распространения лёссовидных суглинков и коренных пород, залегающих непосредственно под ними. Имеются многочисленные сведения о возможных индикационных связях эрозионных врезов с линейными очертаниями тальвегов, с характером литогенной и тектонической трещиноватости пород, особенностями новейшей тектоники и морфоструктурным планом территории. Эти закономерности отмечаются в районах Самарской Луки, Актюбинского Приуралья, на Украине и в других районах.

Аккумулятивные равнины речных террас имеют большое народнохозяйственное значение. Они являются важным объектом изучения при инженерно-геологических исследованиях.

В большинстве случаев аккумулятивные речные образования представлены песчаными отложениями и толщей лёссовидных суглинков, перекрывающих их сверху. В настоящее время поверхность речных террас представляет собой равнинный, гравийный и бугристый микрорельеф. Равнинный рельеф характеризуется волнистостью или плоскими поверхностями, отображающимися на аэрофотоснимках темно-серого тона в зависимости от поверхностного покрова каштановых почв или типичных черноземов. Гравийный рельеф распознается по характерному полосчатому рисунку, создаваемому специфическим распределением или особенностями проективного покрытия псаммофитной (песколюбивой) растительности. При аэровизуальных наблюдениях или инструментальном дешифрировании аэроснимков можно различить покатые, плоскoverшинные и резкогравийные микроформы. Эти разновидности гравийного рельефа имеют лито- и гидроиндикационное значение.

Мелкогравийные поверхности индицируют пойменные отложения разных стадий образования с преобладанием русловых заливных отложений, часто содержащие грунтовые воды хлоридного состава высокой минерализации. Резкогравийные поверхности индицируют отложения современных стадий формирования, представленных песчано-гравийными и песчано-суглинистыми отложениями, содержащими грунтовые воды незначительной минерализации.

Бугристые формы являются индикаторами современных эоловых образований. Бугристые пески с котловинами выдувания почти всегда четко дешифрируются по особому светло-серому, иногда почти белому фототону с ячеями темного фототона округлых очертаний за счет фрагментарного скопления мезофитного разнотравья.

Песчаные бугры характеризуются большим разнообразием в очертаниях поперечного профиля. В районах Причерноморья, в долинах Дона и притоках Волги нередко наблюдаются мягко- и резкоочерченные бугры высотой от 1 до 3 м, от 3 до 7 м и от 7 до 10 м.

В зависимости от степени закрепления эти разновидности форм проявления эоловой деятельности обладают различной гидроиндикационной характеристикой. Например, на террасах Южного Буга и Днепра наблюдаются бугры высотой более 7 м и площадью более 100 м<sup>2</sup>. Они являются вместилищами линз грунтовых вод незначительной минерализации, расположенных на значительной глубине. Низкобугристые, закрепленные полынно-злаковой растительностью пески, где базисом дефляции являются лёссы, суглинки и глинистый элювий почвических известняков, индируют близкое залегание грунтовых вод (до 2 м) повышенной минерализации (до 10—15 г/л).

Несколько своеобразны возможности аэrolандшафтной индикации на поймах крупных рек. Эти территории являются исключением среди прочих ландшафтов европейской части СССР, поскольку характеризуются хорошей сохранностью естественной растительности. В этой связи рекомендуется проводить дешифрирование аэрофотоснимков различных годов залетов, аэровизуальные наблюдения и комплекс геоботанических исследований через определенные промежутки времени (сезоны, года, десятилетия) для индикации динамики инженерно-геологических условий.

В долинах рек на примере поймы нижнего Дона широко представлены: а) луга избыточного увлажнения с тростником, осоками и кугоем на темноцветных глеевых и глееватых почвах; б) незасоленные луга среднего увлажнения с пыреем, ползучим, костером безостым, мятым луговым, солодкой шиповатой и другими видами на засоленных грунтах; в) засоленные луга среднего увлажнения, индикаторами которого являются кермек Гмелина, полынь солончаковая, бескильница, ситник Жерара; г) луга недостаточного увлажнения, распознающиеся по характерному растительному покрову из типчака, житняка.

Сравнительное изучение растительности различных элементов рельефа может дать определенные результаты по индикации современных процессов засоления и рассоления в почвогрунтах надпойменных террас. Сравнение данных повторных съемок может вскрыть эволюцию засоления. Так, в долинах Маныча индикатором начальной стадии оstepнения служат незасоленные луга среднего увлажнения (пырейные, бекманиево-пырейные и мятыково-пырейные сообщества). Вторая стадия характеризуется засоленными лугами недостаточного увлажнения, у которых аэрофоторисунок содержит мелкую светлую пятнистость, обусловленную наличием фрагментов солончаков.

На стадии осолонцевания развиваются растительные сообщества долинных степей. Индикатором этого процесса являются типичные степные сообщества, мезофильные растительные ассоциа-

ции понижений и ксерофильные сообщества на солонцах (рис. 25). В долинах Берды, Зеленои в Приазовье, а также в долинах рек на юге Причерноморской низменности часто встречаются пойменные равнинные поверхности, отображающиеся на аэрофотоснимках в виде пятен белого фототона или мозаики светлых и темных пятен неправильной формы. Они покрыты типичными представителями солончаковой растительности (солерос, петросимония, сарсазан, обиона и т. д.), создающими мозаичный аэрофоторисунок. Эти участки являются индикаторами илистых грунтов с близким расположением сильноминерализованных вод хлоридного состава (от 30 до 60—120 г/л). В геоморфологическом отношении эти участки соответствуют древним руслам реки и старичным понижениям. Геоботанические наблюдения позволяют во многом облегчить картирование генетических типов микроформ и коррелятных им отложений. Некоторые важные индикационные закономерности такой взаимосвязи отражены в исследованиях по рекам — нижнему Дону и Кубани.

Оползневые склоны водохранилищ, долин рек и морских побережий в настоящее время являются объектом особого инженерно-геологического изучения, поскольку эти территории используются для жилищного строительства, гидротехнических, промышленных и сельскохозяйственных сооружений.

Оползневые склоны широко распространены в долине Волги. Их изучению посвящено много специальных работ, в том числе аэrolандшафтных. Формы оползания склонов представляют большой интерес при изучении деформаций грунтов и механизма их образования. На аэрофотоснимках оползневые формы рельефа обладают высокой степенью контрастности фототона, четкостью границ и специфическим рисунком изображения в виде мелкой полосчатости и грядовости (если рассматривать аэрофотоснимки под стереоскопом). Ниже приводим результаты исследований по выявлению индикационного значения оползневых форм на волжских водохранилищах [23].

Оползни-потоки представляют собой сравнительно медленное движение (течение) по неопределенной изогнутой поверхности склона, обильно увлажненных бесструктурных земляных масс, образованных продуктами выветривания материнских пород. Они изображаются микрополосчатым аэрофоторисунком с серым фототоном, отображающим многослойные ступенчатые блинообразные

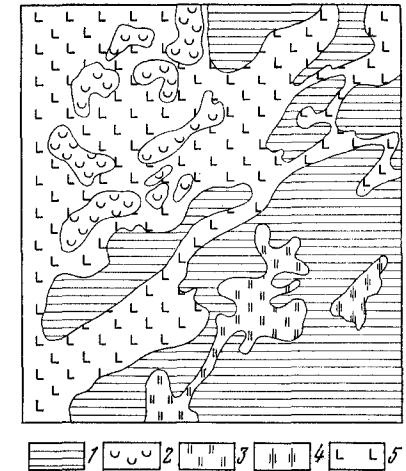


Рис. 25. Аккумулятивные террасы:  
1 — высокие; 2 — низкие; 3 — солончаковые луга; 4 — солончаки; 5 — мокрые солончаки

**Региональная индикационная схема  
опорно- и педофильтационных районов европейской части СССР**

Индикаторы	Индикаты
Пологонаклонные западинные равнины междуречий с покровом типичных и южных черноземов и участками солончаков и оподзоленных почв	Суглинистые отложения значительной мощности с участием подовых отложений и образований
Пологие суффозионно-карстовые равнины с развитием черноземных, солонцовых, солончаковых почв	Суглинистые отложения мощностью до 20 м, залегающие на карстующихся породах и содержащие грунтовые воды пестрого химического состава и минерализации на глубине 1—10 м от поверхности
Эрозионные и эрозионно-аккумулятивные равнины	Суглинистые отложения незначительной мощности (менее 10 м), залегающие на сильнотрещиноватых и обводненных коренных породах
Аккумулятивные равнины речных террас	Песчаные, супесчаные, суглинистые отложения рек в различной степени засоленные, содержащие грунтовые воды пестрого состава и различной минерализации на глубине 1—10 м
Дельвиально-оползневые склоны долин рек, морских побережий и водохранилищ	Деформации грунтов и зоны разгрузки подземных вод

и имеют слабую минерализацию. В тех же районах были отдешифрированы брошенные дороги, ведущие к древнему городу Ольвии. Большинство их в настоящее время охвачено формированием промоин и мелких оврагов. По линиям старых дорог можно дешифрировать очаги некоторых экзогенных процессов.

В районах подземной выработки полезных ископаемых дешифрируются провалы и воронки различного облика. Благодаря систематизации дешифровочных признаков этих форм можно картировать процессы воздействия выработок на геологическую среду. Более древние формы этих явлений возможно могут быть использованы как индикаторы старых выработок.

**АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ  
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
В ПРЕДЕЛАХ СЕМИАРИДНЫХ РАВНИН  
СО ЗНАЧИТЕЛЬНОЙ СОХРАННОСТЬЮ  
ЕСТЕСТВЕННЫХ ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

Ко второму типу территорий, где, несмотря на значительную освоенность, сохранилась естественная растительность, относятся ландшафтные провинции равнин Западной Сибири и Казахстана:

языки текучей массы. Они индицируют пластовое истечение вод или выходов отдельных источников. Э. К. Радченко (1967 г.) отмечает, что хорошо развитые молодые оползни-потоки имеют ярко выраженные в рельфе оползневые цирки с резко вогнутым профилем. При этом надоползневые откосы изображаются в форме дугообразных полос светлого тона. Оползневые тени выглядят в виде округлых пятен серого и темно-серого тона.

Оползни-сплывы — это возникающие вновь преимущественно однофазовые смещения в однородной глинистой толще пород. Они перемещаются по определенной вогнутой поверхности скольжения, без изменения первичной структуры пород. Возникновение оползней данного типа происходит под воздействием блокового давления земляных масс и фильтрационного давления грунтовых вод. Оползни-сплывы дешифрируются по трещинам, отделяющим их от склона и по фототону обнажающихся по трещинам пород.

Главной морфологической чертой, позволяющей дешифрировать оползни-сплывы на аэрофотоснимке, являются дугообразные в плане стенки срыва, четко окаймляющие сверху сместившийся массив и отделяющие его от остальной части склона. Они часто вытянуты вдоль склона параллельно береговой линии и разбиты сетью однородных трещин, направленных перпендикулярно к движению оползневых масс. Таким образом, заключает автор, оползни дешифрируются по ряду признаков, связанных со спецификой их геометрической формы, морфологии и ориентировки на склонах.

Изучение форм рельефа в комплексе с растительностью раскрывает большие возможности диахронической индикации состояния оползневых процессов. По мнению А. В. Садова [37], по геоморфологическим и геоботаническим индикаторам можно выявить стадии подготовки, возникновения, нарастающего развития, спада или затухания, а также последействия процесса. Индикаторами этих явлений являются высота стенки срыва, микрорельеф, протяженность, уклон в сочетании с проективным покрытием, составом, особенностями распространения растительных сообществ в различных морфологических частях оползня. Например, стенка срыва в головной части оползня высотой 25 м, крутизной 70° на обнаженных участках мелкозернистых песков и серо-зеленых глин, с проективным покрытием растительности 70% при чередовании ассоциаций пионерной (20%) и вторичной (50%) группировок индицирует зону частичной современной активизации оползня. Главнейшие индикационные связи в ландшафтах равнин, подвергшихся коренному антропогенному преобразованию, отражены в табл. 20.

Большое значение для данного типа территорий имеют антропогенные индикаторы. Опыт дешифрирования аэрофотоснимков показывает, что курганы и старые дороги на юге европейской части СССР могут быть косвенными индикаторами обводненности балок и выходов подземных питьевых вод. На территории Украины разветвленная сеть курганов четко соответствует линиям водоразделов балок с выходами родников из понтических и сарматских известняков. Эти родники являются выходами межпластовых вод

Зауральская пенепленизированная останцовая равнина, Орское степное плато, Курганская, Ишимская, Барабинская, Приобская лесостепные равнинны, Прииртышская, Кулундинская степные равнинны, Тургайская платообразная равнина, а также Низкое Заволжье европейской части СССР.

Семиаридные ландшафты Западной Сибири представляют собой степные и лесостепные слаборасчлененные равнинны, изобилующие просадочно-супфозионными, супфозионно-эрэзионными западинами, крупными и мелкими озерами, болотами и заболоченными низинами среди слабовозвышающихся грив и валов. Современные ландшафты Западной Сибири сформировались в области распространения третичных озерно-аллювиальных и морских отложений, повсеместно прикрытых покровом лёссовидных суглинков.

Ландшафты Зауралья и Тургайский платообразной равнины отличаются распространением низких холмов и увалов, неглубоких озер и пересыхающих речек, а также широких долин и балок. Формирование современных ландшафтов Тургайской столовой страны и Зауралья происходило в условиях распространения горизонтально залегающих палеогеновых и неогеновых отложений, представленных морскими и континентальными отложениями, а также почти повсеместно плейстоценовыми лёссовидными суглинками. Ландшафты Нижнего Поволжья сформированы на молодых морских отложениях.

В пределах этих территорий человек занимался не столько земледелием, сколько пастьбщим хозяйством. Поэтому естественная растительность здесь не столь сильно изменена, как в предыдущем типе территорий.

Широко распространенным индикатором гранулометрического состава грунтов в этих ландшафтах являются различные типы степей. Белополынные, типчаково-белополынные и мелкоковыльно-белополынные степи связаны с суглинистыми и тяжелосупесчаными грунтами, а злаковые степи тяготеют к супесчаным, легкосупесчанным и песчаным субстратам. Выявление этих типов степей на аэрофотоснимках сложно, так как они изображаются однообразным расплывчато-пятнистым аэрофоторисунком с колебанием фототона от серого до светло-серого. Поэтому наиболее целесообразно использовать для распознавания их аэровизуальные наблюдения, при которых белополынные степи хорошо заметны по характерному серебристо-серому аспекту полыни, а злаковые — по крупным сultanoобразным экземплярам ковыля и высокому пышному травостою прочих злаков (житняк сибирский, волоснецы и др.). При большой равнинности рельефа значение этих геоботанических индикаторов очень велико. На фоне степей заметны различные типы понижений — от мелких степных западин до крупных понижений — лиманов. Понижения эти имеют преимущественно супфозионное происхождение. В большинстве случаев с ними связаны локальные скопления грунтовых вод — так называемые подлиманные линзы. Среди лиманов различают заболоченные, луговые, солончаково-луговые и оstepненные. Главным признаком для

их распознавания является растительность. Для заболоченных характерны кочковатость дна и обилие болотного крупнотравья (тростник, камыш, рогоз, сусак). На аэрофотоснимках они выделяются как участки с резкой контрастной мозаичностью (от светло-серого фототона луговых участков до интенсивно темного, создаваемого болотным крупнотравьем). Заболоченные лиманы развиваются при неглубоком залегании глин, плотных суглинков или сильно заиленных песков. Подлиманные линзы залегают здесь неглубоко и носят временный характер, быстро расходясь на испарение. Луговые лиманы с равномерным густым злаковым травостоем являются индикаторами переслаивания легких и средних суглинков, супесей и песков, в целом легко фильтрующими атмосферные осадки в глубь грунта. Воды здесь залегают на глубине 3—10 м и имеют минерализацию не более 2,0 г/л. Благодаря однородной и значительной густоте злаков, покрывающих эти лиманы (главным образом, пырея ползучего), они выделяются на АФС в виде гомогенных по фототону, темных контуров. Засоленность грунтов и грунтовых вод лимана обнаруживается по появлению мелких белых пятен солончаков на его фоне (солончаково-луговые лиманы). При оstepнении, указывающем на истощение подлиманной линзы, лиман и по внешнему облику, и по аэрофоторисунку становится похож на окружающую его степь. Вследствие проникновения на его поверхность полыней и степных злаков дешифрирование становится затруднительным. Поэтому такие лиманы опознаются лишь аэровизуально.

Кроме лиманов в степях встречаются многочисленные мелкие округлые неглубокие западины с кустарниками и злаками. Почвы под этими западинами более гумусированы и более мощны, чем на окружающей степи. Под наиболее крупными западинами отмечаются небольшие линзы верховодки. По характеру динамики этих западин можно ориентировочно оценивать интенсивность поражения территории супфозионными процессами, так как их развитие обусловлено молодой текущей супфозией. Они дешифрируются надежно только на крупномасштабных АФС. При среднем или мелком масштабе АФС западины заметны в виде очень мелкого и неясного крапа.

Очень важна ассоциированность контуров лиманов и западин в определенные ландшафтные рисунки. Отмечается образование извилистых линейных рисунков, подчеркивающих древние ложбины стока, и кольцеобразных рисунков окаймляющих площади молодых поднятий. Реже встречаются оригинальные звездообразные рисунки, которые встречаются на кровлях солянокупольных структур и отражают формирование гипсового карста. В таких рисунках заметен интенсивный рост западин и постепенное слияние их в единую систему.

Большое значение для детализации индикационного значения лиманов и западин имеет массовое появление в них отдельных видов растений, связанных с господством в лимане различных почв, подпочв и грунтовых вод. Распознавание их требует ботанических

знаний. Справочники И. В. Ларина (1953 г.) и О. М. Горожанкиной (1961 г.) содержат основные сведения по геоботанической индикации в лиманах и в прилежащих к ним степных ландшафтах и изображения соответствующих растительных индикаторов.

К semiаридным равнинным ландшафтам, мало измененным человеком, относятся песчаные массивы. Аэrolандшафтная индикация в них может быть применена к определению степени закрепленности песков, к выявлению очагов дефляций, к картографированию неглубокозалегающих грунтовых вод.

## Глава V

### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В АРИДНЫХ РЕГИОНАХ

#### ТИПОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ АРИДНЫХ РЕГИОНОВ ДЛЯ ИНДИКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ

Аридные регионы в СССР настолько значительны по занимаемой ими площади и столь типологически разнообразны, что рассматривать вопросы аэrolандшафтной индикации в них, не подразделяя их на более мелкие таксоны, не представляется возможным. Поэтому мы кратко остановимся на их типологии. Под обобщенным понятием аридных регионов мы подразумеваем равнинные области, включающие как типичные пустыни, так и переходные ландшафты, в которых пустыни сочетаются с элементами сухих степей, обозначаемых обычно как полупустыни (а в более засушливых своих вариантах как северные пустыни).

Полупустыни, в которых степные элементы преобладают над пустынными, отнесены нами к semiаридным регионам и рассмотрены в предыдущей главе. Те из них, где фон создает пустыня, а фрагменты степей присутствуют в качестве включений, мы относим к настоящим полупустыням и северным вариантам пустынь и рассматриваем в настоящей главе вместе с типичными пустынями. Комбинируя классификации пустынь, предложенные Н. А. Гвоздецким (1961 г.) и М. П. Петровым (1968 г.) и внося в них некоторые дополнения, вызванные спецификой индикационных исследований, выделяем в пределах аридных регионов следующие основные значительно генерализованные типологические единицы, указывая при этом главнейшие территории их распространения: 1) песчаные пустыни (пески Каракумы, Кызылкум, Муюнкум, пески Прибалхашья); 2) супесчано-суглинистые пустыни древних аллювиально-дельтовых равнин (Жанадарьинская и Кунядарьинская равнины); 3) суглинистые и глинистые пустыни останцовых плато и ограничивающих их обрывов (Устюрт, Равнинный Манышлак); 4) щебнистые и суглинисто-щебнистые пустыни останцовых плато (наиболее щебнистые площади Устюрта, Красноводского плато и Равнинного Манышлака); 5) щебнистые лёссовые и суглинистые пустыни предгорных равнин (предгорные равнины Копет-Дага, Нурагатау, Чаткала); 6) солончаковые пустыни бессточных впадин и морских побережий (берега Аральского и Каспийского морей, бессточные впадины Устюрта, Каракумов и Кызылкумов); 7) меловые пустыни возвышенностей и волнистых

Таблица 21

Ландшафтно-индикационная схема для мелкомасштабного  
индикационного дешифрирования равнинной части Туркмении

Индикаторы (подтипы и группы ландшафтов пустынь и их комплексы)	Индикаты	Характерные физиономические элементы, видимые на мелкомасштабных АФС и КФС
Щебнисто-галечниковая предгорная пустыня с господством полыни туркменской и низкорослых кустарников	Нижне- и верхнечетвертичные пролювиальные галечниковые отложения	Конусы выноса русла, временных водотоков, выполненные задернованные участки между ними, пятна солончаков по окраинам конусов
Гипсово-щебнистая предгорная пустыня (орофизиономичная) с разреженной гипсофильной растительностью	Континентальные отложения неогена предгорий Копет-Дага (конгломераты, песчаники, глины)	Сильно расчлененные бедленды, почти лишенные плоских водоразделов, обилие русел временных водотоков; обнажения пород с неравномерным фототоном
Лёссовая эфемеровая пустыня с редкими бессточными солончаковыми впадинами	Континентальные верхненеогеновые и четвертичные отложения золового, местами пролювиального генезиса (лёссы) Бадхыза и Карабиля	Свообразные увалистые формы — баирсы-адры. Многочисленные русла временных водотоков
Песчаная пустыня в ее наиболее типичном выражении с господством псаммофильных деревьев и кустарников и коврами травянистых эфемеров и эфемероидов	Нижнечетвертичные аллювиальные отложения Каракумской толщи Центральных Каракумов (пески мелкозернистые, тонкозернистые или разнозернистые с прослоями суглинков)	Общеизвестные типичные формы рельефа песков
Супесчано-суглинистая пустыня с господством черносаксаульников	Верхнечетвертичные аллювиальные отложения староречий Дарьялыка, Даудана и Сарыкамышской дельты Амудары	Обширные такыровидные поверхности с фототоном неравномерной интенсивности. Черносаксаульовые рощи. Следы староречий
Комплекс типичной песчаной, солончаковой и супесчано-суглинистой пустынь	Верхнечетвертичные озерные отложения Сарыкамышского бассейна (в настоящее время испытывающие вторичное затопление)	Сочетание такыровидных поверхностей, солончаков, песчаных массивов и больших водоемов
Комплекс песчаной пустыни с глинистой пустыней останцовых возвышенностей	Континентальные отложения неогена Заунгузских Каракумов (пески, песчаники, глины)	Останцы-крыры. Такыровидные поверхности в понижениях. Черносаксаульовые рощи

равнин с неглубоким залеганием мелов и мелоподобных мергелей (холмы Чир-Кала, Жасасын-Агы и др.); 8) полупустыни и северные варианты пустынь (сочетания различных типов пустынь с фрагментами степных ландшафтов в Северном Приаралье, Тургайском прогибе и в Северном Прикаспии). Мы не выделяем в качестве отдельного типа такырную пустыню, поскольку она почти не образует сплошных массивов, создавая включения почти во все остальные типы пустынь, а также исключаем из данной главы изолированные крупные горные группы, лежащие среди пустынь и полупустынь (Мугоджары, останцы Кызылкума, Мангышлакский Карагатай). Оазисы, расположенные в пустыне, но являющиеся объектами мелиораций, отчасти рассматриваются нами в гл. VII.

В приведенной выше классификации типов пустынь отметим тесную зависимость их от литологических условий и значительное место последних в физиономическом облике пустынь. На это указывают даже сами названия песчаная, супесчано-суглинистая, щебнистая, меловая солончаковая и др. Это свойство обусловлено подавленностью почвообразования в пустынях и маломощностью почв, а также значительной обнаженностью пород. Поэтому сами типы пустынь приобретают литоиндикационное значение и дешифрирование их на мелкомасштабных АФС или на КФС уже само по себе дает некоторую ориентировочную информацию о комплексе инженерно-геологических условий. В отдельных аридных регионах связь типов пустынь с литогенной основой их изучена настолько полно, что могут быть указаны возможности их индикационной интерпретации. Так, например, для равнинной части Туркмении различные типы пустынь, выделяемые в соответствии с нашей классификацией, могут быть индикаторами при мелкомасштабном инженерно-геологическом картировании. Сопоставляя результаты ландшафтно-индикационного дешифрирования и картографирования, проведенные для Туркменистана, с итогами инженерно-геологических исследований В. Л. Дубровкина (1957 г.), можно составить индикационную схему, которая может быть использована для интерпретации мелкомасштабных КФС и частично экстраполирована на прилежащие районы Узбекистана (табл. 21). Нами включены в нее наиболее достоверные и хорошо различимые индикаторы.

Характеризуя в целом перспективы аэrolандшафтной индикации в пустынях и полупустынях, следует указать, что крайняя засушливость является главнейшим элементом комплекса их экологических условий. Поэтому индикация тех или иных трудноанализируемых черт ландшафта осуществляется здесь через те физиономические особенности, которые определяются условиями увлажнения в индикате (объекте индикации). В пустынях более, чем где-либо, индикация инженерно-геологических условий неотделима от гидроиндикации. Следует подчеркнуть также ведущую роль геоморфологических индикаторов в большинстве типов пустынь и относительно второстепенную физиономическую роль рас-

Продолжение табл. 21

Индикаторы (подтипы и группы ландшафтов пустынь и их комплексы)	Индикаты	Характерные физиономические элементы, видимые на мелкомасштабных АФС и КФС
Тугай и джангили с массивами солончаков и культурных ландшафтов	Современные аллювиальные отложения пойменной и тугайной террасы Амудары (супеси, суглинки, пески)	Лесные массивы. Солончаки. Культурные угодья
Щебнисто-суглинистая пустыня (местами с участками каменистой пустыни) полынно-солянковая	Неогеновые толщи сармата, тортона (известники, мергели) Красноводского плато и Устюрта	Плоская поверхность плато с массой блюдец выщелачивания. Такыры. Останцы (турктули) со светлыми гипсонасными почвами

тительности (особенно на КФС), за исключением фреатофитов (т. е. растений, постоянно связанных с грунтовыми водами), дешифрирующихся с большой четкостью.

#### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ В ПЕСЧАНЫХ ПУСТЫНЯХ

Песчаные пустыни имеют широкое распространение в аридных регионах. Крупнейшие из них — Каракумы, Кызылкум, Муюнкум и пески Южного Прибалхашья.

Специфика взаимосвязей компонентов в пределах рассматриваемого типа пустынь (песчаных) обусловливает некоторые особенности индикационных зависимостей и применения аэrolандшафтных индикационных исследований. С своеобразие песчаных пустынь обусловлено сравнительной интенсивностью хода ряда экзогенных процессов по отношению к другим типам пустынь, а именно эоловых, что вследствие значительной подвижности субстрата придает ландшафту черты повышенной динамичности, а также обусловливает при интенсивном ходе эоловых процессов слабое развитие растительного покрова. С названными двумя особенностями: а) динамичностью ландшафта и б) уменьшенным значением растительного покрова — и связана специфика индикационных исследований. Последняя заключается, во-первых, в том, что при повышенной активности дефляции растительность перестает быть физиономичной и особенно аэрофотофизиономичной, а на первый план выступает строение рельефа, обуславливающее основные черты аэрофотоизображения. Растительность иногда может даже попадать в разряд индикаторов, на что указывал еще М. П. Петров (1944 г.), показавший, что при отсутствии крупнокустарниковых и древесных форм судить о растительном покрове по АФС можно лишь при использовании рельефа как индикатора. Далее специфической сложностью индикации в песчаных пустынях часто оказывается нарушенность типичных взаимосвязей

различных фаций и уроцищ в ландшафте в связи с быстрым перемещением масс незакрепленного песка. Типичным примером этого может служить описанное аномальное расположение фаций зарослей фреатофитов (в особенности тростника) в котловинах выдувания. Общеизвестно, что тростник пышно разрастается в дефляционных котловинах при неглубоком залегании грунтовых вод. При сильной подвижности и развеянности песков, окружающих котловину, последние быстро накапливаются около тростниковой заросли (приобретающей роль экрана), погребают под собой бывшую котловину выдувания и наполовину засыпают тростниковую заросль, которая оказывается расположенной уже не на дне котловины, а на склоне бархана. Создается аномальная картина произрастания влаголюбивых видов не там, где вода залегает наиболее близко к поверхности, а где-то в стороне, на повышенных участках. При гидроиндикации это может служить источником ошибок.

К специфическим чертам песчаных пустынь можно отнести то, что определенное значение при индикации в них приобретает местами напочвенный покров, образованный низшими растениями — мхами или лишайниками, создающий при большой закрепленности песков сомкнутые ковры (карахарсанги), хорошо видимые на АФС. В других типах пустынь (за исключением некоторых вариантов суглинистых пустынь останцовых плато) подобных явлений не отмечено.

Переходя к характеристике конкретных индикаторов грунтовых и гидрогеологических условий в песчаных пустынях, следует указать, что рассматривая их как целостный тип территорий, мы включаем в них и ряд фрагментов других типов пустынь.

Возможности аэrolандшафтной индикации в песчаных пустынях велики. Благодаря работам Г. С. Каленова (1973 г.) одна из крупнейших песчаных пустынь СССР — Каракумы изучена в индикационном отношении очень обстоятельно. С учетом его данных можно указать главнейшие индикаторы различных элементов инженерно-геологической обстановки. При этом мы сочетали сведения об индикационном значении отдельных распространенных и хорошо заметных видах растений, выявленных Г. С. Каленовым, с результатами проведенного дешифрирования. Приведем краткие характеристики наиболее достоверных и легкоразличимых индикаторов.

- Системы барханов с глубокими котловинами выдувания, при отсутствии травяного покрова, с равномерными, но рассеянными экземплярами песчаной акации и крупными дерновинами песколюбивого злака селина (*Arthratherium*, *Stipagrostis* и *Aristida*). Этот индикатор указывает на наличие мощной толщи незакрепленных, рыхлых, сыпучих, хорошо аэрируемых, незасоленных, легкоподвижных песков. Основные растения-индикаторы опознаются достаточно надежно: песчаная акация — по тонкой и светлой коре, серебристой листве, наличию колючек и кистей темно-

фиолетовых цветов; селин — по характерным густым дерновинам, напоминающим снопы, торчащие из песка, и по длинным много-метровым шнуровидным корням, тянувшимся по поверхности песка или расположенным на очень небольшой глубине. Часто здесь присутствуют заросли эремоспартона: это хорошо различимое на местности небольшое деревце (часто имеющее вид кустарника), сильноветвистое, с характерными прутьевидными листьями. На АФС этот индикатор хорошо дешифрируется по наличию барханов, котловин выдувания и редкому темному крапу, создаваемому песчановыми деревьями и кустарниками.

2. Системы гряд с глубокими межгрядовыми понижениями, с густым ковром песчаной осоки и отдельными экземплярами белого саксаула и джузгунов. Развитие этого индикатора характерно для закрепленных или полузакрепленных песков и мелких супесей, с поверхности рыхлых, незасоленных, но с глубины 2—3 м значительно уплотненных и слабозасоленных. Растения-индикаторы опознаются легко. Белый саксаул — древовидный кустарник высотой до 3 м, с корявым стволом (часто многоствольный), безлистный, с членистыми зеленовато-серыми годичными побегами и белесовато-серой корой. Джузгуны, или кандымы, — древовидные кустарники высотой от 1 до 4 м с белесоватой или красноватой корой, безлистные, с характерными, хорошо заметными плодами в виде шариков, покрытых жесткими щетинками или перепончатыми кожистыми крыльями. Песчаная осока (илак) — низкорослое (5—20 см) травянистое растение с кожистыми пузыревидными плодами; корневища образуют на глубине 10—15 см плотный войлок, скрепляющий песок. Наименее закрепленные участки гряд обозначаются появлением индикатора 1. Наиболее заметно появление на таких участках песчаной акации. На АФС и КФС индикатор дешифрируется по специальному рельефу гряд и крапу древесно-кустарниковой растительности. В наиболее закрепленных межгрядовых понижениях видны темные пятна мохово-лишайниковых ковров (карахарсанги).

3. Сочетание среднебугристых, мелкобугристых, реже мелкобугристо-грядовых песков с ровными щебнистыми поверхностями, часто ограниченными невысокими уступами. На песках — густая (но не сомкнутая) заросль невысоких неравномерно ветвящихся корявых кустарников — боялыча и реомюрии амударьинской. На щебнистых поверхностях эти виды очень редки и растительный покров образован главным образом коврами лишайников. В котловинах выдувания среди песков также часты мохово-лишайниковые покровы. Этот комплексный сложно построенный ландшафтный индикатор свойствен гипсоносным пескам, подстилаемым гипсоносными суглинками, глинами или плотными, часто ожелезненными, песчаниками. На АФС хорошо заметна мелкобугристость песков, густой, но очень мелкий крап кустарников и темные, лишенные четкого аэрофоторисунка щебнистые поверхности. Следует отметить, что гипсоносность песков здесь вторич-

на и зависит от импульверизации их продуктами выветривания и подстилающих их глин и суглинков. Поэтому изредка могут встречаться невысокие гряды, имеющие облик, описанный выше для индикатора 2. Индикатор типичен для Заунгусских Каракумов.

4. Замкнутые понижения с солончаками, почти лишенными растительности (депизы); последняя сохранилась лишь небольшими пятнами по очень слаженным, едва заметным останцовским повышенным участкам и представлена тамариксом солончаковым, редким низкорослым черным саксаулом, угнетенным тростником. Эти понижения обозначают переслаивание сильнозасоленных глин, алевритов, суглинков, супесей и заиленных песков при близком залегании рассолов (с содержанием солей 30—50 г/л). Останцовские бугры с солончаковой растительностью сложены маломощными (3—4 м) озерными отложениями, а окружающий их солончаковый фон — отложениями Праамудары. Индикатор безошибочно дешифрируется по солончаковой поверхности (имеющей почти белый фототон большую часть года и темный весной) и имеет локальное распространение по южной окраине низменных Каракумов.

5. Замкнутые понижения с мелкобугристыми солончаками, сформированными у зарослей сочных многолетних солелюбивых кустарников и полукустарников. Этот индикатор обозначает толщи засоленных глин и суглинков с прослойями супесей и песков. Преобладает хлоридное засоление, грунтовые воды не глубже 5 м с минерализацией от 4 до 15 г/л. С повышением минерализации отмечается возрастание разреженности солелюбивых растений и фитогенных микробугорков. На АФС отчетливо заметен специфический густой и равномерный крап, создаваемый бугорками на светлом фоне солончака. Наиболее типично выражен этот индикатор по границе низменных Каракумов и предгорной равнины Копет-Дага.

6. Равнины с такыровидными поверхностями и малозаметной приземистой растительностью из пустынных полукустарников и редкого низкорослого черного саксаула, в сочетании с маломощными мелкобугристыми песками. Они являются индикаторами древнедельтовых отложений рек Теджен и Мургаб, образованных переслаиванием глин, суглинков и пылеватых песков. На АФС они опознаются не очень четко вследствие монотонности аэрофотоизображения и более различимы при аэровизуальных наблюдениях. По данным Г. С. Каленова (1973 г.), серо-серебристый, прижатый к почве полукустарничек тетыр, хорошо опознаваемый аэровизуально и типичный для глин и суглинков дельтовых отложений Теджена, отсутствует на мургабских толщах.

7. Понижения с густыми черносаксауловыми рощами и лесами. Общеизвестный индикатор грунтовых вод различной минерализации, залегающих не глубже 25—30 м. На АФС черносаксаульники создают темный фототон (при крупном масштабе мелкоточеч-

ный), резко контрастирующий с массивами окружающих песков. Кольца черносаксаульников вокруг барханных массивов указывают на наличие подпесчаной локальной линзы грунтовых вод, что выражено особенно типично у барханов Джилликум. Низкорослые разреженные черносаксаульники часто отмечаются на маломощных песках, подстилаемых глинами. Нередко отмечается сопряженность черносаксаульников с карахарсангами.

8. Тугайно-солончаковые и тугайно-солончаково-озерные комплексы в котловинах выдувания и межгрядовых понижениях песков, образованные концентрическим сочетанием тугая, обрамляющего солончак, или мелководного озера, заключенного в кольцо тугая. Этот многочленный индикатор обозначает понижения с засоленными заиленными песками, подвергающимися боковой фильтрации вод из близлежащих каналов, и отражает антропогенные влияния. Он подробно виден на АФС [18].

9. Лугово-солончаковые и лугово-солончаково-тугайные комплексы в понижениях песков у самоизливающихся скважин. Физиономически они сходны с предшествующим индикатором и представляют собой поясной комплекс, в центре которого лежит прискважинное озеро, а вокруг в разных сочетаниях располагаются солончаки, солончаковые луга и тугай. Они являются индикаторами сферы влияния самоизливающейся скважины и особенно важны для выявления тех площадей, которые подвергаются засолению. На среднемасштабных и крупномасштабных КФС дешифруются непосредственно по контрасту с окружающими песками. Наиболее крупные комплексы видны и на КФС.

Возможности индикации инженерно-геологических условий в пустыне Кызылкум изучены недостаточно. Существуют данные, позволяющие экстраполировать на нее многие индикаторы, отмеченные выше для Каракумов: черносаксаульники, понижения с мелкобугристыми солончаками, комплексы у самоизливающихся скважин, барханные участки с песколюбивыми деревьями и кустарниками и белосаксаульники на грядовых песках.

Более или менее специфичны для Кызылкума и впервые описаны в нем С. А. Кушнарем (1939 г.) цепи крупных фитогенных бугров-чукалаков, тяготеющих к обводненным разломам, но также и к избыточно увлажняемым участкам проявлений новейших и современных тектонических движений. Бугры достигают 3—5 м высоты и формируются главным образом у крупных экземпляров тамариков и черного саксаула. Крупные цепи чукалаков описаны во впадине Мын-Булак, на такырах к югу от родников Хала-Ата и в ряде других участков.

В Каракумах они мало распространены и наиболее крупный массив их отмечен лишь во впадине Султан-Санджар. Встречаются они эпизодически в Юго-Западной Туркмении, на Устюрте и Прикаспии, но обычно не создают крупных цепей. Генезис их связывается с деятельностью восходящих родников.

## АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ В СУПЕСЧАНО-СУГЛИНИСТЫХ ПУСТЫНЯХ ДРЕВНИХ АЛЛЮВИАЛЬНО-ДЕЛЬТОВЫХ РАВНИН

Данный тип пустынь (по сравнению с другими) занимает незначительные площади, образуя более или менее крупные массивы лишь на Жанадарынской и Кунядарынской равнинах в области староречий Сырдарьи и Амударьи. Однако он требует особого рассмотрения как ввиду сложности аэrolандшафтной индикации в его пределах, так и вследствие своего хозяйственного значения, поскольку именно здесь сосредоточено наибольшее количество заброшенных земель древнего орошения, подвергающихся в настоящее время вторичному, современному сельскохозяйственному освоению). Сложность аэrolандшафтной индикации в условиях супесчано-суглинистой пустыни древних аллювиально-дельтовых равнин зависит от выровненности ее рельефа и однообразия растительности, представленной постоянным чередованием черносаксауловых лесов, рощ и редин, такыров, лишенных растительности и такыровидных поверхностей с немногими мелкими травянистыми галофитами. Часто видны следы старых поливных систем.

Дешифрирование мелкомасштабных АФС и КФС обычно позволяет различить старые русла, останцовые возвышенности, наиболее крупные такыры, массивы черносаксаульников (без разделения их на более мелкие ландшафтные таксоны), наиболее крупные старые каналы, массивы маломощных песков и довольно редкие солончаки. Из всех этих элементов ландшафта наиболее интересны следы русел и черносаксаульники, так как доказано, что русла, окаймленные густыми сомкнутыми черносаксаульниками, имеют постоянные грунтовые потоки в толще отложений, слагающих их дно. Отмечается также тяготение песков и супесей к бортам русел, а глин и суглинков — к межрусовым пространствам, в связи с чем здесь формируются обширные такыры, являющиеся, таким образом, индикаторами тяжелых грунтов. Возвышенности, четко заметные в виде изолированных бугров или обрывистых останцов, обозначают собой выходы гипсонасочных глин, песчаников и известняков. Растительность на них разрежена, и породы (особенно гипсонасочные глины) прослежены четко.

При наличии крупномасштабных АФС можно вести индикационное дешифрирование грунтов разного гранулометрического состава, с большой точностью используя количественные методы анализа аэрофоторисунка и ландшафтного рисунка, создаваемого черносаксаульниками. В ландшафте последних различаются два крупных обобщенных типа уроцищ — сомкнутые черносаксаульники, создающие леса или рощи, и черносаксауловые редины. Эктоярусы их хорошо различимы на крупномасштабных АФС по густоте крапа, отдельные точечные элементы которого отвечают кронам экземпляров саксаула. Измеряются расстояния от какой-

либо одной кроны до всех, наиболее близких к ней. С использованием полученного материала можно построить кривые распределения. На оси ординат откладываются при этом классы расстояний, а на оси абсцисс — число измерений в каждом классе. Этим способом можно разделять площади с господством в верхней пятиметровой части разреза песков и супесей или суглинков и глин, не прибегая к бурению. Эти же кривые подтверждают связь редин с преобладанием тяжелых грунтов, а лесов и рощ — с преобладанием легких грунтов. Для Жанадарьинской равнины Е. А. Востокова показала присутствие в опесчаненных древнеаллювиальных отложениях под сомкнутыми черносаксаульниками, имеющими повышенную вегетативную мощность, локальных скоплений грунтовых вод.

Из экзогенных процессов, протекающих в данном типе пустынь, наиболее отчетливо определяется с помощью индикационного дешифрирования захоронение такыровидных поверхностей песками. Оно происходит как за счет развеивания песчаных прослоев в древнеаллювиальных толщах (в особенности вблизи русел), так и за счет эолового перемещения материала из близлежащих песчаных пустынь. Наиболее ранние стадии этого процесса, связанные с накоплением песка около мелких травянистых растений и карликовых полукустарников, рассеянных по такыровидной поверхности на АФС, неразличимы. Дешифрирование становится возможным лишь после формирования тонкого прерывистого песчаного плаща, в котором могут укореняться более крупные кустарники (боялыч, черкез и др.). Появление отдельных экземпляров их, хорошо видных на крупномасштабных АФС по темной точечности, означает завершение первой стадии захоронения, а постепенное сгущение точечности позволяет проследить превращение такыровидной поверхности в массив маломощных навеянных песков. В этих явлениях можно видеть одну из форм естественной фитомелиорации пустынь данного типа, которая под воздействием человека может дать значительный хозяйствственный эффект.

#### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ В СУГЛИНИСТЫХ И ГЛИНИСТЫХ ПУСТЫНЯХ ОСТАНЦОВЫХ ПЛАТО И ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ИХ ОБРЫВОВ (ЧИНКОВ)

Суглинистые и глинистые пустыни входят в группу равнинных пустынь, развитых в пределах платформ, испытавших незначительное общее поднятие. Их геологическим субстратом являются сцепментированные песчано-глинистые и карбонатные породы мезокайнозойского возраста, перекрытые плашом четвертичных дельювиально-пролювиальных отложений небольшой мощности. Эти породы подвержены интенсивному воздействию эрозионных, дефляционно-аккумулятивных процессов, солончаковой дефляции и склоновой гравитации, что приводит к формированию специфического мезо- и микрорельефа денудационного и аккумулятивного

происхождения (останцов, крутостенных обрывов на склонах останцовых возвышенностей, дефляционных впадин, эрозионных форм, такыров, карстово-суффозионных провалов и просадок, оползней и т. д.).

Растительный покров здесь довольно разнообразен, что в сочетании с рельефом создает характерные ландшафты, эктоярусы которых весьма физиономичны на аэрофотоснимках и имеют определенное индикационное значение. Большой интерес для аэrolандшафтной индикации имеют ландшафты чинковых зон (зон обрывов) останцовых плато и возвышенностей, поскольку здесь интенсивно развиваются экзогенные процессы. Особенно важно индикационное изучение оползневых процессов, развитие которых характерно для чинковых зон, сложенных глинисто-карбонатными толщами палеоген-неогенового возраста. При этом оползневым смещениям подвержены главным образом выветрелые карбонатные породы, а поверхностью скольжения оползневых тел являются глинистые породы. Анализ ландшафтной структуры оползневых склонов позволяет выявить взаимосвязь между рельефом, почвенно-растительным покровом и геолого-литологическими, гидрогеологическими и инженерно-геологическими особенностями чинков. Это дает возможность косвенно судить о механизме оползневых процессов, их возрасте и характере современной активности.

Дешифрирование среднемасштабных аэрофотоснимков позволяет выявить основные уроцища в пределах оползневых склонов. Эктоярусы этих уроцищ имеют различное индикационное значение.

Так, например, при изучении ландшафтной структуры аральских чинков нами неоднократно отмечались по наличию вытянутых светло-серых пятен с мелковзернистой структурой долинообразные понижения с разнообразной влаголюбивой растительностью из фреатофитов. Здесь наблюдались заросли тростника, гигантского злака — чия, кусты тамариксов и пятна солончаков с сочным солелюбивым кустарником — сарсазаном. Наземные исследования позволили установить, что такие участки могут быть интерпретированы как индикаторы линз пресных вод, формирующихся за счет инфильтрации атмосферных осадков и конденсации водяных паров [17]. Дешифрирующиеся на аэрофотоснимках пятна темного фототона, приуроченные к понижениям в тыловых швах оползневых ступеней с произрастающими в них фреатофитами, индицируют неглубокое залегание пресных и слабосолоноватых вод. Межгрядовые понижения на оползневых склонах с преобладанием в растительном покрове сарсазана связаны с близким залеганием соленых хлоридно-натриевых вод. Детальный ландшафтный анализ структуры оползневых тел позволяет также индицировать литологический состав пород склонов, подверженных смещениям. Например, блоковая структура оползневых тел характерна для скальных и полускальных карбонатных пород, увалистая и грядовая структура индицирует глинисто-карбонат-

ные породы, а бугристо-точечные формы рельефа свойственны глинистым породам. Рельеф оползневых тел получает на аэрофотоснимках отчетливое отображение и дешифрируется прямым образом. Физиономические различия подчеркиваются растительностью, хорошо различимой при аэровизуальных наблюдениях. На плотных карбонатных породах обычны жестколистные колючие беспорядочно ветвящиеся крупные кустарники с темной корой и буровато-зеленой листвой (курчавка, карагана, кустарниковый вьюнок), тогда как для глин типичны сочные безлистные темно-зеленые и голубовато-серые полукустарники (пotaшники, карабарак). Особенно хорошо заметны так называемые глинистые пухляки, т. е. пухлые поверхности, густо усеянные сростками кристаллов гипса с рассеянными экземплярами вышеописанных солелюбивых растений. Эктоярусы этих уроцищ служат индикаторами крайне высокого засоления почвогрунтов, поскольку являются результатом самых ранних стадий выветривания соленосных глин.

На материалах аэрофотосъемки находят специфическое выражение и ландшафты равнинных пространств суглинистых и глинистых пустынь. Среди них наиболее распространены ландшафты биургуновых кочкарников, полынных равнин, черносаксаульников и пологих депрессий с зарослями полукустарниковых и кустарниковых фреатофитов («урпа»).

Равнины с повсеместным развитием биургуновых кочкарников (часто с коврами черных лишайников на поверхности почвы) являются литоиндикаторами, достоверно указывающими на наличие типичных, сильнозасоленных глинистых грунтов — глин и суглинков. Ковер лишайников индицирует высокую приповерхностную гипсонасность; на среднемасштабных аэрофотоснимках биургуновые кочкарники формируют бесструктурное изображение с преобладанием серых оттенков в фототоне. Полынныe равнины также являются лито- и галоиндикаторами менее засоленных суглинистых и глинистых пород. Рельеф этих равнин настолько пологий и практически не расчлененный, что наиболее физиономичны в них растительные сообщества серой полыни и итцегека. В ряде случаев на фоне монотонных равнинных пространств развиваются суффозионно-просадочные явления, при этом в просадках присутствует злаковое разнотравье, что создает резкий цветовой контраст в фотоизображении. Общее бесструктурное фотоизображение серого фототона, характерное для полынников, нарушается в данном случае и осложняется мелкой пятнистостью темных тонов, характеризующей распространение суффозионно-просадочных блюдцеобразных понижений. Если суффозионно-просадочные явления развиваются на фоне биургуновых кочкарников, то охваченные ими участки также заселяются полыньями и кустарниками. Возникают так называемые полынно-биургуновые комплексы, имеющие на средне- и крупномасштабных АФС отчетливую мозаичную структуру. На Устюрте они занимают огромные площади.

Характерное фотоизображение создают на аэрофотоснимках пологие депрессии суффозионного происхождения, известные под названием урпа. Наибольшее распространение урпа получила в суглинистых пустынях Устюрта и Равнинного Мангышлака. На местности она выражена в виде обширных по площади понижений, достигающих в диаметре 2—3 км и глубины до 20 м. В днище их произрастают заросли полукустарниковых фреатофитов (курчавка, итцегек, верблюжья колючка) с присутствием эфемеров. На аэрофотоснимках эти депрессии весьма физиономичны и создают крупные пятна часто неправильной формы с общим потемнением фототона по сравнению с окружающим фоном. Рассматриваемые понижения имеют большое гидроиндикационное значение. Их связь с неглубокозалегающими пресными или слабосолоноватыми водами доказана и приводится в ряде работ [9]. Одновременно с этим депрессии типа урпа имеют литоиндикационное значение и используются как индикаторы суглинистых и супесчаных отложений.

Весьма физиономичны на аэрофотоснимках ландшафты черносаксаульников. Последние получили широкое распространение на супесчано-суглинистых и глинистых поверхностях на границе суглинистых пустынь с бессточными впадинами, где они распространены по периферии солончаковых понижений.

Черносаксаульники используются как индикатор, а также как показатели своеобразных высокогипсонасных субстратов (гипсовых псевдопесков). На аэрофотоснимках они создают контрастное зернистое изображение темного фототона и дешифрируются легко.

Неотъемлемым элементом ландшафтов суглинистых и глинистых пустынь являются такыры, играющие большую роль в образовании и распределении поверхностного стока. Такырные и такыровидные почвы обладают высокой водоудерживающей способностью и на сложенных ими водосборах сток обычно формируется по несколько раз в год. В связи с тем, что одной из наиболее сложных проблем хозяйственного освоения пустынь является техническое и питьевое водоснабжение, изучение такыров имеет большое значение, поскольку в настоящее время возможно их использование в качестве индикаторов подтакырных линз пресных вод [12]. Однако естественные запасы таких линз весьма незначительны и наиболее целесообразным и выгодным в экономическом отношении путем является использование такыров в качестве бассейнов искусственного восполнения запасов подземных вод за счет магазинирования атмосферных осадков [9].

С. В. Викторов (1971 г.) указывает, что оптимальным способом оценки такыра как арены магазинирования является непосредственное изучение его обычными методами инженерно-геологических и гидрогеологических исследований. Однако, принимая во внимание многочисленность такыров и их разбросанность на огромных пустынных пространствах, целесообразно применять аэророландшафтные методы, позволяющие определить признаки клас-

сификации такыров для целей магазинирования атмосферных осадков. Применение аэроландшафтной индикации при изучении такыров важно и для целей инженерно-геологического обоснования при использовании их в качестве временных аэродромов. Аэроландшафтным изучением такыров для целей гидрогеологии и инженерной геологии начали заниматься сравнительно недавно, однако уже сейчас имеется некоторый опыт в этом направлении.

Такыры весьма физиономичны на аэрофотоснимках. Плотные глинистые и суглинистые поверхности такырных понижений, практически лишенные растительного покрова, создают резко-контрастную с окружающим фоном бесструктурную пятнистость с преобладанием светлых фототонов. Причем различия в генезисе, морфологии и составе такырных отложений очень четко отражаются в характере фотоизображений, что позволяет отличать типичные такыры от других типов поверхностей пролювиально-делювиальной аккумуляции. Помимо этого среднемасштабные аэрофотоснимки представляют возможность выделять в пределах конкретных такырных понижений различные зоны по составу, мощности и свойствам отложений, а следовательно, и определять преобладающие процессы их формирования.

Однако использование только дешифровочных признаков в ряде случаев приводит к ошибкам. Так, например, очень сходное с такырами фотоизображение на мелкомасштабных аэрофотоснимках имеют солончаки. Правильно интерпретировать подобные случаи помогает комплексный анализ дешифровочных признаков и физиономичных компонентов ландшафта: общей геоморфологической и структурно-тектонической обстановки, характера гидросети, растительного покрова — в сочетании с проверочными наземными работами.

#### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ В ЩЕБНИСТЫХ И СУГЛИНИСТО-ЩЕБНИСТЫХ ПУСТЫНЯХ ОСТАНЦОВЫХ ПЛАТО

Щебнистые пустыни имеют фрагментарное развитие в пределах равнинных денудационных пустынь [2], получивших распространение на платформенных территориях аридной зоны и испытавших в новейшее время слабое поднятие. Сложенны коренными, чаще всего скальными и полускальными осадочными породами, они покрыты щебнистым элювием небольшой мощности, не превышающим 1 м. В нашей стране пустыни такого типа распространены на Красноводском плато, на Подуральском плато, в Бетпак-Дала, на Устюрте и на Равнинном Манышлаке.

Основными ландшафтообразующими процессами в пределах щебнистых пустынь являются физико-химическое выветривание, выщелачивание горных пород, дефляция и гравитационные процессы на склонах. Растительный покров беден и представлен главным образом различными лишайниками с фрагментарным развитием пустынных гипсолюбивых кустарников и полукустарников (боялыч, биургун, полыни). Интенсивное развитие вывет-

ривания коренных пород карстообразования и склоновой гравитации, а также слабое развитие почвенно-растительного покрова приводят к тому, что наиболее физиономичными элементами ландшафтов щебнистых пустынь являются: останцовые бугры, дефляционные межбугровые котловины, разнообразные карстовые формы рельефа, а на крутых склонах (чинках) останцовых плато еще и гравитационные процессы. Все они находят отчетливое отражение на материалах аэрофотосъемки.

Останцовый рельеф наиболее физиономичен в связи с тем, что продукты разрушения горных пород ввиду слабого развития флювиальных процессов не переносятся на большое расстояние, а откладываясь в межбугровых котловинах выдувания, формируя так называемую щебнистую присыпку. Это создает резкие цветовые и яркостные контрасты в фотоизображении из-за разницы в литологическом составе поверхностных отложений. В качестве примера можно привести описание поверхностей аккумуляции щебнистого материала в межгрядовых понижениях увала Карабаур, наблюдавшиеся нами на центральном Устюрте, получившими название псевдотакыров.

Они имеют идентичный с типичными такырами характер аэрофотоизображения, что часто вызывает ошибки при дешифировании. Рисунок их изображения пятнистый, структура внутри пятен гомогенна, фототон белесый. Наземные исследования позволили выявить природу формирования подобных поверхностей. Они формируются на водораздельных поверхностях увалов (преимущественно в сводовых частях антиклинальных структур) и чаще всего приурочены к полузамкнутым котловинам в межгрядовых понижениях увалов. В геологическом отношении данные образования представляют собой щебнистые поверхности, почти лишенные растительности. Мощность щебнистой присыпки 0,1 м. Ниже залегает кровля известняков сарматы. Генетически эти поверхности представляют собой котловины денудационного происхождения, формирующиеся в результате разрушения грядообразных поверхностей водораздельного плато, сноса и аккумуляции продуктов разрушения у подножия этих гряд.

Специфическое фотоизображение имеют карстовые формы рельефа, широко распространенные в районах развития щебнистых пустынь. Они представлены разнообразными провальными воронками, воронками выщелачивания, колодцеобразными провалами, шахтами, пещерами и карстовыми долинами. В днищах провальных форм произрастают влаголюбивые растения, а часто провалы заполнены водой, что дает на снимках резко очерченную пятнистость с гомогенной структурой темного фототона. Несколько иначе на аэрофотоснимках выглядят неглубокие воронки и западины. Границы их менее резкие, а структура фотоизображения зернистая, обусловливаемая произрастанием в днищах злакового разнотравья.

Материалы аэрофотосъемки позволяют не только выявить формы существующего карстового рельефа, но и методом ретро-

спективного анализа осуществить прогнозирование дальнейшей эволюции карстовых форм, как это было сделано С. В. Викторовым [9] при индикации стадий воронок поверхностного выщелачивания («вдавленное полынное пятно», кустарниковая воронка, комплексная воронка) и А. Л. Ревзоном (1977 г.) при изучении стадийности асимметричных карстовых провалов на склонах останцовых возвышенностей.

Карст в своем развитии часто связан с другими экзогенными процессами. Развитие провальных форм на склонах останцовых возвышенностей иногда сопряжено с интенсивной деятельностью эрозионных процессов, что приводит к формированию своеобразных эрозионно-карстовых цирков. В этих цирках эрозия протекает с большой интенсивностью, так как она избирает для своего развития тектонически ослабленные зоны разломов. За счет интенсивности эрозии у подножий цирков формируются такыровидные поверхности, окаймляющие останцовевые возвышенностии.

Большую роль в формировании карстовых провалов на склонах останцовых возвышенностей играют гравитационные процессы. При дешифрировании аэрофотоснимков Равнинного Мангишлака, Устюрта и Красноводского плато нами были отмечены трещины с различной степенью раскрытия, ориентированные строго параллельно бровкам склонов. В некоторых случаях эти трещины развиты вблизи бровок, описанных выше эрозионно-карстовых цирков. Наземные морфометрические исследования показали, что дешифрирующиеся трещины являются рвами отседания различных стадий.

По этим рвам происходит отседание отколовшихся блоков под действием сил гравитации. Процессы отседания создают блокоступенчатый рельеф на склонах и способствуют не только развитию карста, но и общему разрушению склонов останцовых возвышенностей. В отдельных случаях по рвам отседания, находящимся на первых стадиях развития, образуются провалы типа поноров, что способствует расширению рвов и гравитационному смещению блоков отседания вниз по склону. Рвы отседания часто подчеркиваются влаголюбивой растительностью (в особенности зарослями верблюжьей колючки).

Рассмотренные ландшафтные особенности щебнистых и суглинисто-щебнистых пустынь позволяют сделать некоторые выводы в отношении возможности использования их физиономических компонентов в качестве индикаторов при дешифрировании инженерно-геологических условий.

Интенсивно развивающиеся в них экзогенные геологические процессы создают резко выраженные формы рельефа, весьма физиономично проявляющиеся в ландшафтах и на аэрофотоснимках (рис. 26). Объектами индикации могут являться границы распространения стратиграфо-генетических комплексов пород, участки распространения и различной интенсивности экзогенных геологических процессов, зоны разуплотнения горных пород, сопряженные с линеаментами дизьюнктивного происхождения. Например,

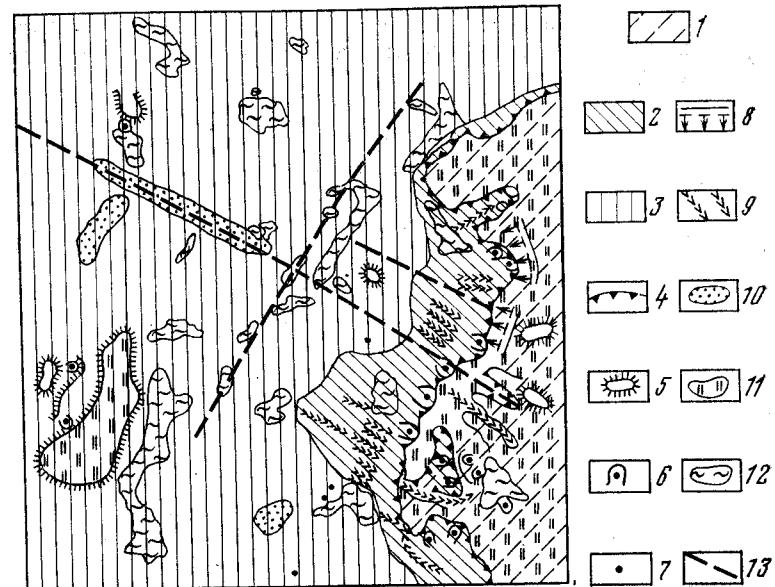


Рис. 26. Схема дешифрирования современных рельефообразующих процессов на Центральном Устюрте по аэроснимку:

1 — слабонаклонное водораздельное плато; 2 — крутые склоны водоразделов, сформированные совместным действием карста и эрозии; 3 — плоские, сильно затянутые поверхности пролювиальной аккумуляции; 4 — эрозионно-карстовые цирки; 5 — сарматские останцовые возвышенностии; 6 — асимметричные карстовые провалы (аны); 7 — колодцеобразные карстовые провалы (рвы); 8 — рвы и блоки отседания склонов; 9 — склоновые эрозионные формы; 10 — участки распространения микрозагпадинного рельефа; 11 — участки развития слабого планестного смыва; 12 — талыши отстанивания; 13 — линеаменты, связанные с дизьюнктивной тектоникой

концентрация и локализация провальных карстовых форм указывает на наличие зон интенсивной трещиноватости горных пород, а распространение их в виде линейно-ориентированных цепей, в большинстве случаев связано с дизьюнктивной тектоникой. Локализация останцовых возвышенностей и интенсивное развитие эрозионных и гравитационных процессов на их склонах индицирует участки сводовых частей локальных антиклинальных структур. Такие примеры описываются в ряде работ [2, 40].

#### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ В ЩЕБНИСТЫХ И СУГЛИНИСТЫХ ПУСТЫНЯХ ПРЕДГОРНЫХ РАВНИН

Пустыни предгорных равнин имеют сложную ландшафтную структуру, обусловленную фациальной изменчивостью пролювиальных отложений. Ландшафты, тяготеющие непосредственно к источникам сноса, заняты щебнистой пустыней, которая далее сменяется пустыней на лессовидных суглинках и на периферии предгорной равнины окаймляется суглинистой пустыней с многочисленными такырами и солончаками.

Возможности ландшафтной индикации инженерно-геологических условий в предгорных пустынях наиболее изучены для равнин, лежащих у подножия Кюрен-Дага, Конет-Дага, Большого и Малого Балхана и Кугитанга [3]. Обобщая индикационные схемы, разработанные для этих районов, можно выделить ряд более или менее повторяющихся индикаторов, указывающих главным образом на гранулометрический состав пролювиальных отложений. Так, скопления грубообломочного материала, полностью промытого от солей, обозначаются сочетанием сильнорасчлененного рельефа с обилием каньонообразных русел временных водотоков и узких гребней их разделяющих, при господстве полынников и других многолетних полукустарниковых или травянистых растений, характеризующихся сильной опущенностью листьев. Индикатор в основном орофизиономичен и дешифрируется главным образом по формам рельефа. Однако обилие растений с беловато-серым опушением обуславливает осветление фототона АФС и бывает хорошо заметно при аэровизуальных наблюдениях. Верхняя часть конусов выноса с господством выщелоченных супесей и легких суглинков обозначается эфемеровыми формациями осоки пустынной и мятыника луковичного, развитыми на волнисто-увалистых формах рельефа, постепенно выполаживающихся по мере удаления от гор [3]. Дешифрирование в этом предгорном поясе обычно затруднено, так как именно здесь наиболее выражены антропогенные воздействия — распашка и выпас. Однако само проявление их становится своеобразным антропогенным индикатором этих выщелоченных грунтов, наиболее пригодных для хозяйственного освоения. Нижняя, сильно выпложенная часть конусов выноса занята плоскими такыровидными поверхностями, почти лишенными растительности и дешифрируемыми лишь по однобразному расплывчато- пятнистому фототону. Появление участков сомкнутой растительности позволяет распознать на этой равнине участки с проявлениями суффозии и маломощные скопления песков. В целом же этот ландшафтный индикатор обозначает распространение засоленных суглинков с сульфатно-натриевым или сульфатно-хлоридно-натриевым засолением порядка 1—2,5%. Наконец, периферия конусов выноса, где отлагаются сильнозасоленные глины и тяжелые суглинки (с сульфатно-хлоридно-натриевым засолением от 2 до 5%), обозначаются солончаковыми мелкобугристыми поверхностями с сочными многолетними безлистными солелюбивыми кустарниками и полукустарниками (саран, поташник, соляноколосник). Они отчетливо дешифрируются по световому фототону солончаков и фитогенному крапу. Эта общая схема испытывает на отдельных предгорных равнинах определенное варьирование. Так, в районе, расположенному к югу от Большого Балхана, русло р. Узбоя как бы срезает большую часть ряда, оставляя лишь первые его члены, непосредственно прилегающие к горам. В предгорной равнине Кюрен-Дага и Малого Балхана участки с проявлениями новейшей и современной тектонической активности, выводящие на поверхность засоленные породы,

мало-измененные выветриванием, создают на фоне выщелоченных пролювиальных отложений участки с аномальным хлоридно-кальциевым засолением. Но эти исключения лишь подчеркивают общее постоянство структуры изложенной индикационной схемы.

Равнинны Юго-Западной Туркмении обстоятельно изучены в отношении ландшафтной индикации почв. Некоторые ее элементы могут быть использованы и для оценки отдельных инженерно-геологических условий, хотя составить более или менее законченную индикационную схему для этого региона пока невозможно. Ниже мы указываем наиболее заметные и практически применимые индикаторы. На обсыхающих побережьях Каспия участки, занятые глинами, суглинками и тяжелыми супесями с содержанием солей от 4 до 11% при господстве  $\text{NaCl}$ , занятые мелкобугристыми солончаками с сочным безлистным подушковидным полукустарником-сарсаном, а песчаные участки (даже замаскированные незначительным суглинистым плащом с засолением не выше 1,5% при господстве  $\text{CaSO}_4$ ) — такими же солончаками, но с более крупным олиственным кустарником селитрянкой. Оба растения легко различимы по размерам и по развитию листьев даже с самолета. Фитогенный крап, создаваемый ими на АФС, различен: у сарсанников он мелок и част, у селитрянников редок и крупен. Хорошо различимые на АФС так называемые хаковые или солончаковые такыры с паркетообразной поверхностью, почти лишенной растительности, за исключением редких и мелких солелюбивых трав, обозначают площади, заливаемые весной потоками талых вод, стекающих с окрестных возвышенностей. Под этими поверхностями залегает толща аллювиально-пролювиальных суглинков, содержащая 1,8—3,7% солей при почти равных концентрациях иона магния, натрия, хлор-иона и сульфат-иона. Эти площади дешифрируются по характерному макрополигональному растрескиванию. Маломощные участки песков на фоне такыров и солончаков выделяются на местности и на АФС по мелкобугристому рельефу и по сомкнутости растительного покрова, образованного крупными кустарниками (астрагалы, боялым, солянка Рихтера).

#### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ В СОЛОНЧАКОВЫХ ПУСТЫНЯХ

Солончаковые пустыни образуют более или менее крупные массивы в бессточных впадинах и на морских побережьях. Кроме того, они часто бывают вкраплены мелкими фрагментами в ландшафты полупустынь и северных вариантов пустынь в Прикаспии и в Северном Приаралье, в песчаную, супесчано-суглинистую и лессовую предгорную пустыни. Индикационное значение этих фрагментов рассмотрено нами в соответствующих разделах настоящей главы. В данном же разделе мы касаемся лишь значительных по площади, сплошных солончаковых территорий.

Существенной чертой солончаковых пустынь является богатство почвы воднорастворимыми солями. От качества солей и от

Таблица 22

## Классификация степени засоления для солончаковых пустынь

Степени засоления, грунты	Содержание солей, %	Степени засоления, грунты	Содержание солей, %
Слабозасоленные	Менее 0,5	Солончаковые	От 3 до 5
Среднезасоленные	От 0,5 до 1,0	Сверхзасоленные	Более 5
Сильнозасоленные	От 1 до 3		

состава их зависят многие свойства солончаковых грунтов и почв, а также и характер растительного покрова. Поэтому одним из важных звеньев в характеристике солончаковых пустынь является определение засоления. В дальнейшем мы будем пользоваться двумя понятиями — степень засоления (определенная по процентному содержанию в почве солей, извлекаемых водной вытяжкой) и качество засоления (определенное количественным соотношением ионов в солевом комплексе, по данным анализа водной вытяжки); при этом для характеристики качества засоления будут применены понятия «тип засоления» и «галофация».

Под галофацией по аналогии с лиофациями, гидрохимическими фациями и другими подобными понятиями будет подразумеваться часть поверхности почвенного покрова или подпочвенной материнской породы солончаковой пустыни, обладающая однородным засолением. Типом же называется группа галофаций, объединенных господством одного и того же аниона и катиона.

Единых взглядов на классификацию степени засоления грунтов солончаковых пустынь не существует. С. И. Тюремнов (1928 г.) относит к солончакам только участки с поверхностным засолением, превышающим 3%. Однако изучение солончаковых пустынь показывает, что в их пределах далеко не вся территория занята солончаками, встречаются участки с засолением менее 3%. Рассматривая солончаковую пустыню как целостный тип ландшафта, мы, таким образом, лишены возможности игнорировать существование этих менее засоленных площадей, лежащих между настоящими солончаками. Поэтому в дальнейшем для классификации степеней засоления в солончаковой пустыне будут применены следующие градации (табл. 22), выбранные с использованием классификации С. И. Тюремнова (1928 г.) и Д. Д. Вышивкина (1962 г.).

Наиболее существенной физиономической особенностью ландшафтов солончаковой пустыни является наличие соляных аккумуляций на ее поверхности и присутствие своеобразной растительности, образованной солелюбивыми мясистыми и часто безлистными кустарниками, полукустарниками и травами, относящимися к экологической группе суккулентных (сочных) галофитов. М. А. Монахов (1979 г.) комбинируя эти физиономические признаки, предложил следующую классификацию типов, подтипов и вариантов поверхности солончаковой пустыни: тип I — плоские поверхности; подтипы — а) соры (лишенные растительности), б) суккулентно-галофитные поверхности, в) солончаково-луговые поверхности (в пределах соров выделяются бронированные поверхности, мокрые вязкие поверхности и жидкие грязи); среди мокрых участков различаются корковые и бескорковые; тип II — бугристые поверхности; подтипы — мелкобугристые и крупнобугристые поверхности; среди последних различаются площади с эуфитогенными и с семифитогенными буграми. В различных подтипах солончаковых пустынь отмечается закономерное сочетание тех или иных типов и подтипов солончаковых поверхностей, образую-

щих определенные ряды. По мнению М. А. Монахова, большинство этих рядов отражает процесс миграции воднорастворимых солей. Различные стадии этой миграции могут быть ориентировочно определены по структуре рядов солончаковых поверхностей, отражаемой АФС и КФС (рис. 27).

Исследования, проведенные нами, показывают, что индикационное значение солончаковых поверхностей шире, чем то, которое приписано им М. А. Монаховым, особенно, если рассматривать солончаковую поверхность не изолированно, а в сочетании с ее ландшафтным окружением и с ее положением в рельефе. При подобном подходе к индикации грунтовых условий в солончаковых пустынях нами были составлены две обобщенные индикационные схемы — одна для бессточных впадин и — две для разных типов морских побережий. Ниже приводим характеристики индикаторов и соответствующих им индикаторов в бессточных впадинах.



Рис. 27. Солончаковая пустыня у подножия плато

1. Центр впадины. Поверхность — плоский бронированный сор (сплошная плотная соляная броня). Растительность отсутствует. Грунты сверхзасоленные, образованные чередованием вязких суглинков, сероводородных темных илов и пластов соли. Тип засоления — хлоридно-натриевый. Присутствует исключительно хлоридно-натриевая галофация. Вода на глубине не более 3 м. Аэрофотоизображение лишено ландшафтного рисунка, гомогенное, в сухое время года с равномерным светлым, почти белым фотоном.

2. Окраины центра впадины (на границе с индикатором 1), иногда вдающиеся в виде языков в вышеописанный индикатор. Поверхность плоская, с чередованием мокрых и бронированных соров (первые господствуют). Растительность отсутствует. Грунты сверхзасоленные, аналогичные описанным для индикатора 1. Тип засоления хлоридно-натриевый. Литогалофация исключительно хлоридно-натриевая; педогалофация на мокрых участках сульфатно-хлоридно-натриевая. Вода на глубине не более 3 м. Аэрофотоизображение с неясным ландшафтным рисунком, создаваемым мокрыми поверхностями, дающими расплывающиеся сероватые пятна на светлом фоне бронированного сора.

3. Периферия дна впадины, часто образующая языки, вдающиеся в индикатор 2. Преобладает мелкобугристая поверхность с вкрапленными в нее плоскими суккулентно-галофитными поверхностями и участками мокрых соров (бронированных соров нет). В растительном покрове господствует сочный безлистный полукустарник — саразан. Физиономически характерно обилие мелких бугорков типичных эоловых очертаний. Грунты — от сверхзасоленных до солончаковых, суглинистые, вязкие, с гнездами песка и солей; прослойки илов и солей — на значительной глубине (более 3—4 м). В микробугорках грунт сыпучий, порошковатый, образованный смесью мелкозема, частиц солей и песка (псевдопесок). Тип засоления хлоридно-натриевый; литогалофация хлоридно-натриевая, педогалофации на микробугристых участках от сульфатно-хлоридно-натриевой до сульфатно-хлоридно-кальциево-натриевой. Вода обнаружена на глубине 1—2 м. Аэрофотоизображение на крупномасштабных АФС с мелким, но отчетливым крапом. Распределение его неравномерно и создает мозаичный ландшафтный рисунок, обусловленный чередованием мелкобугристых и плоских суккулентно-галофитных поверхностей. Количественное исследование края позволяет по густоте его судить о мощности пухлого псевдопесчаного слоя.

4. Окраины центра впадины (в виде островков среди индикатора 1). Поверхность мелкобугристая с вкраплением крупнобугристых участков. Эуфитогенные бугры до 2 м высотой обычны у кустов различных видов тамариксов. Между ними расположены мелкобугристые участки. Грунты от солончаковых до сильнозасоленных. Тип засоления сульфатно-хлоридно-натриевый. Литогалофация сульфатно-хлоридно-натриевая, педогалофация под мелкобугристыми участками такая же, на крупнобугристых участках

по всей высоте бугра хлоридно-сульфатно-кальциевая. Бугры сложены слоистым псевдопеском с включением органического опада. Воды на глубине 1—2 м.

Следует обратить внимание на то, что индикационное дешифрирование в бессточных впадинах, мало интересное в инженерно-геологическом отношении, привлекает к себе внимание в связи с рассмотрением инженерной геологии как науки о геологической среде и ее охране, поскольку антропогенная деструкция соленосных грунтов во впадинах создает очаги соляной дефляции. Ими в наибольшей степени являются площади, которые можно опознать по индикаторам 3 и 4. Наибольшую угрозу создает антропогенная деструкция крупных бугров, дающая сразу большую массу пухлого соленосного материала.

На морских побережьях можно выявить две типичные обобщенные индикационные схемы. Одна из них характерна для сильноизрезанных берегов с многочисленными обсохшими лагунами. Она имеет некоторое сходство с описанной выше для бессточных впадин с теми же признаками дешифрирования, однако с той разницей, что бронированный сор в центре лагуны обычно отсутствует, и ряд начинается с мокрых соров, лишь местами включающих бронированные участки. В маленьких лагунах выпадает и этот индикатор и центр лагуны часто занят мелкобугристой поверхностью с сарсазаном. Другой своеобразной чертой, свойственной обсохшим лагунам, является сильная опесчаненность грунта на участках крупнобугристых поверхностей. Грунты здесь представлены супесями, в них много гнезд песка и битой ракушки.

Там, где берег не изрезан и лагуны развиты слабо, структура приморской солончаковой пустыни существенно иная. Эктоярусы различных ПТК располагаются здесь более или менее выраженными поясами, параллельными берегу. На формирование этих поясов влияет, с одной стороны, снижение уровня грунтовых вод, с другой — проникновение растений с окружающих прибрежных ландшафтов. Для южного побережья Аравии нами, по личным наблюдениям и литературным данным [18], создана весьма обобщенная индикационная схема. В ней молодые, только что обсохшие части дна, обозначаются плоскими суккулентно-галофитными солончаковыми поверхностями с разреженными группировками травянистых галофитов (солерос и др.). Грунты супесчаные с прослойками суглинков, с поверхности сверхзасоленные, на глубине солончаковые. Тип засоления хлоридно-натриевый, без участия других галофаций. Вода на глубине 1,5—3 м. Индикатор дешифрируется по гомогенному светло-серому фототону с прерывистым неравномерным полосчатым ландшафтным рисунком, создаваемым скоплениями подводных и прибрежноводных высохших растений, образующих валы, на которые проникают кустарники с более отдаленных от моря частей побережья (главным образом, тамариксы). Второй пояс создают заросли вышеупомянутых кустарников на плоской поверхности с полузаросшими валами. Возрастает опесчаненность грунта, усиливается его обсыхание, появляются

ются мелкие очаги дефляции. Грунты — от сильнозасоленных до солончаковых. Тип засоления и господствующие педогалофации сульфатно-хлоридно-кальциево-натриевые. Литогалофации — в основном сульфатно-хлоридно-натриевые. Уровень грунтовых вод снижается до 3—5 м от поверхности.

Дешифрирование легко осуществляется по хорошо заметным полосам кустарниковых зарослей. Третий пояс образуют крупно-буристые поверхности. Фитогенные бугры крупные, преимущественно с типичными солелюбивыми кустарниками (участие тамариксов меньше). Часты очаги дефляции. Опесченность грунта, особенно с поверхности, продолжает возрастать. Грунты — от слабозасоленных (на поверхности) до сильнозасоленных на глубине. Тип — тот же, что в предыдущем поясе, галофации изучены недостаточно. Вода на глубине 4—7 м от поверхности.

Дешифрирование (вполне безошибочно) возможно по обилию характерных фитогенных бугров. Первый из описанных индикаторов обозначает площади, обсохшие 1—3 года назад. Индикационное дешифрирование приморских солончаковых пустынь заслуживает в связи с этими данными большого внимания, так как благодаря ему можно подойти к оценке динамики грунтовых условий на берегах обсыхающих внутренних бассейнов типа Арала и Каспия, что приобретает сейчас большое научное и практическое значение.

#### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ В МЕЛОВЫХ ПУСТЫНЯХ

В классификации пустынь понятие о меловых пустынях является несколько новым. Описывая растительность мелов в Западном Казахстане, П. М. Ильин и Р. Ю. Рожевиц (1928 г.) назвали характеризуемый ими ландшафт «меловой равниной». Е. А. Востокова (1953 г.) впервые употребила термин «меловая пустыня». В настоящее время многие исследователи указали на большое своеобразие растительности, почв и внешнего облика ландшафтов этих пустынь, о которых можно говорить как об особом типе. Меловые пустыни имеют довольно ограниченное распространение. Наиболее крупные массивы их лежат по левому берегу р. Эмбы в среднем ее течении (холмы Чир-Кала, Актау, Астау-Салды, Сыргалы), на Мангышлаке (горы Актау и прилегающая к ним предгорная равнина), в северной части впадины Каын-Ярык (холмы Жасасын-Агы) и в Чушкакульском кряже. Значительные участки ее вкраплены в фон полупустынь и сухих степей, к востоку от долины р. Урал.

По характеру рельефа меловая пустыня обычно представлена цепью холмов, невысоких гор или волнистой предгорной равниной. Обнаженность пород, особенно на возвышенностях, очень велика, и поэтому меловая пустыня хорошо видна на мелкомасштабных АФС и КФС по светлой окраске субстрата. Таким образом, этот тип пустынь носит характер индикатора литологических условий (как это выше отмечалось для некоторых пустынь). Однако сле-

дует считаться с тем, что меловые пустыни, оказываясь связанными главным образом с возвышенностями, создают вокруг себя довольно обширный ореол меловых пролювиально-делювиальных шлейфов, отчасти перекрывающих прилежащие территории и обуславливающих частичное продвижение на них ландшафтов, типичных для рассматриваемого типа пустынь. Светлый меловой пролювиальный четко прослеживается даже на мелкомасштабных АФС и КФС. При дешифрировании он несколько искажает границы меловой пустыни в сторону увеличения ее площади.

Аэrolандшафтная индикация в меловых пустынях была применена нами в трех направлениях: 1) для определения трещиноватости, 2) для оценки мощности зоны выветривания и почвообразования и 3) для обнаружения очагов формирования оползней и оплывин. Следует заметить, что все эти направления основаны на физиономических контрастах, которые создаются при различных случаях появления растительности на мелах и мергелях. Поэтому индикация имеет преимущественно геоботанический характер.

Трещиноватость мелов и мергелей обнаруживается по появлению линейно-ориентированных полос растительности на фоне почти обнаженной породы. Полосы эти образованы весьма немногими видами растений, из которых наиболее част меловой биургун (*Anabasis cretacea*), имеющий вид сочных зеленовато-голубых прижатых к почве кустиков с мясистыми побегами, лишенными листьев. Растения располагаются узкой цепочкой на расстоянии 0,5—3 м друг от друга. В физиономическом отношении наиболее важна именно эта линейная ассоциированность растений, а не присутствие каких-либо определенных видов растений, так как попадание их семян на трещины носит случайный характер. Появление растительных полос на трещинах заметно очень хорошо благодаря резкости контраста светлого, почти белого карбонатного субстрата и зеленых растений. Полосы их на АФС воспринимаются как темный фототон. Существует некоторая стадийность в заселении трещин растениями. На мелких трещинах господствует упомянутый выше меловой биургун и немногие травянистые растения, на крупных — появляются единичные, довольно высокие кустарники (курчавка, кaporцы, крушина), а ширина полос мелового биургана становится больше. Поэтому мелкие трещины дают и на местности, и на АФС тонкую темную исчерченность субстрата линиями равномерной толщины, а крупные трещины обладают еще и наложенной на эту исчерченность редкой точечностью. Трещиноватость мелов и мелоподобных мергелей, подчеркиваемая растительностью, хорошо заметна при аэровизуальных наблюдениях.

Стадии выветривания мелов и мелоподобных мергелей заметны главным образом по степени сомкнутости высших растений, их заселяющих. В отличие от других пород мела и мергели не покрываются на ранних стадиях выветривания ковром мхов, лишайников и водорослей, маскирующих естественную окраску и облик породы и осложняющих дальнейшие наблюдения за разви-

тием на ней почвы и растительности. Меловые породы с самого начала заселяются высшими растениями (травами, полукустарниками, кустарниками), и поэтому постепенное сгущение последних в определенной степени соответствует мощности слоя, затронутого выветриванием и почвообразованием. Мы умышленно не будем касаться состава растительного покрова на мелах, так как различие входящих в него растений требует специальных ботанических знаний и не всегда осуществимо на АФС. Однако одна лишь оценка сомкнутости растений может дать возможность некоторых количественных оценок. По нашим наблюдениям, на холмах Чир-Кала можно выделить следующие типы растительности на мелах, имеющие индикационное значение (табл. 23).

Оползни распространены в меловой пустыне довольно широко, особенно при преобладании в ней мелоподобных мергелей. Очаги формирования оползней связаны обычно с избыточно увлажненными участками. Коренные породы, слагающие меловую пустыню, большей частью безводны и систематическое увлажнение возможно за счет вод, поступающих из каких-либо смежных ландшафтов. Такое положение имеет место в тех же холмах Чир-Кала. На некоторых из них толща сенонских мелов перекрывается гипсонасными тасаранскими глинами, выше которых залегают водоносные ожелезненные пески и песчаники тургайской свиты. На контакте с подстилающей их глинистой толщей возникают довольно частые и мощные родники, вода которых увлажняет как поверхность тасаранской свиты, так и лежащие ниже сенонские писчие мела. Под влиянием этого увлажнения в последних обра-

Таблица 23  
Индикационное значение густоты растительного покрова  
на мелах и мелоподобных мергелях

Характер распределения и сомкнутости растений	Степень развития выветривания и почвообразования
Субстрат обнаженный, равномерно светлый; видна темная линейная исчерченность	Сплошной выветрелый слой и почва отсутствуют. Есть скопления мелкозема в трещинах
Субстрат светлый, с равномерным мелким темным крапом (заметным аэровизуально или при крупном масштабе АФС) и просматриваемой через крап линейной исчерченностью	Существует слой породы, разрушенной выветриванием, мощностью не более 10 см
Крап густой, частый, местами сливающийся в сплошные темные пятна	Выветриванием охвачена толща породы до 30—50 см. Начинают формироваться маломощные пленочные почвы
Порода сплошь покрыта ковром растений и проглядывает из-под него лишь местами (темный фон со светлыми пятнами)	Выветриванием и почвообразованием охвачена толща породы около 100 см

зуются ослабленные участки, служащие очагами как мелких оползней, так и более крупных оползней. Они возникают в углублениях по склонам, в крупных трещинах, нишах и прочих элементах рельефа, где вода может накапливаться и застаиваться. Избыток влаги вызывает на этих участках усиленное разрушение породы, вследствие чего они легко заселяются растениями. Здесь появляются влаголюбивые виды — тростник, пырейные и пальчатниковые лужайки, иногда группы кустарников. Типичные сочетания своеобразных форм рельефа с влаголюбивой растительностью хорошо видны как на местности (в виде зеленых «клумб» сочных растений), так и на АФС (в виде интенсивно темных, почти черных участков). Нижняя граница их обычно обрамлена мелкой темной «баухромой» эрозионных ложбин, которые также покрыты растительностью. Этот ландшафтный рисунок очень типичен и хорошо виден на АФС. После того, как оползневой блок отделился от склона, эктоярус ландшафта, индицирующего очаг оползневого процесса, обычно разрушается, так как условия для застоя влаги исчезают и влаголюбивые растения быстро засыхают, почвенный же слой подвергается механической деструкции.

#### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ В ПОЛУПУСТЫНЯХ И СЕВЕРНЫХ ВАРИАНТАХ ПУСТЫНЬ

Разнообразные переходные ландшафты, сформированные в области контакта степей и пустынь в Казахском мелкосопочнике, в Северном Приаралье, в Тургайской ложбине, в Прикаспии и Приуралье объединяются нами под названием полупустынь и северных вариантов пустынь. Индикационная изученность их крайне неравномерна. Районы юга Казахстанского мелкосопочника и Северного Прибалхашья довольно подробно описаны в отношении приложения к их изучению аэрометодов [7]. Однако авторы этого интересного исследования не приводят подробных описаний использованных ими индикаторов, ограничивая их характеристику лишь тем, что можно извлечь из аэрофотоснимка, не пополняя ее всем комплексом работ на ключевых участках.

Кроме того, при описании индикаторов, сведения о количестве участков, на которых они проведены, отсутствуют. Эта непроверенность индикаторов затрудняет оценку их надежности, и поэтому мы приводим ниже лишь те из них, которые подтверждены работами и других исследователей. Значительную группу индикаторов составляют здесь сочетания физиономических компонентов речных долин. На поймах в пределах денудационно-аккумулятивных равнин хорошо дешифрируется характерное расчленение мелкими старыми руслами, наличие светлоокрашенных обнаженных галечников и присутствие лугов и ивняковых зарослей. По этим показателям можно определить присутствие песчано-галечного аллювия в местах развития лугов и ивняков и повсеместное неглубокое залегание вод (не глубже 1,5 м). В континен-

тальных дельтах характерно развитие галогенных физиономических элементов—солончаков и солончаковых лугов, что позволяет определить более тяжелый гранулометрический состав аллювия и его повышенную засоленность, которая колеблется в пределах верхней метровой толщи от 0,7 до 1,5%. Для пойм песчаных равнин характерно развитие сочетания тугаев и джангилей (зарослей крупнотравья—тростника, рогоза, камышей) и вейниковых лугов. Это сочетание типично для толщ тонко- и мелкозернистых песков с линзами суглинков (последним обычно отвечают вейниковые луга) при общей выщелоченности субстрата и близком положении зеркала грунтовых вод.

Среди наиболее определенных индикаторов в пределах первых надпойменных террас следует отметить валиковые такыры, индицирующие плоскостной сток (наибольшее развитие в пределах континентальных дельт), и характерное сочетание черносаксауловых редин и такировидных поверхностей. Оно типично для пылеватых песков с прослойями суглинков при залегании грунтовых вод на глубине 3,5—5,0 м и засолении верхней части разреза (0,5—2,0 м) в пределах 1—2%. Этот индикатор развит в пределах долин, лежащих среди аккумулятивных песчаных равнин. На первых надпойменных аллювиально-пролювиальных террасах отмечается характерная микрокомплексность, объясняющаяся сочетанием эктоярусов многих разнообразных фаций—полынно-солянковых пятен, фитогенных бугров с тамарицами (чукалов), солончаков. Оно типично для тяжелых разностей (глины, суглинки) при залегании соленых грунтовых вод не глубже 2—3 м. В целом же возможности дешифрирования литологического состава и мощности пород оцениваются В. М. Валяхом и Е. Г. Чаповским [7] как очень ограниченные. Возможно, что это справедливо если использовать только АФС, не дополняя его анализ аэровизуальными наблюдениями и наземными маршрутами. Однако ландшафтно-индикационные исследования почти никогда не сводятся к одному лишь дешифрированию и поэтому результаты их, несомненно, будут богаче, чем узкое применение одних лишь аэрометодов. Для территории Северного Приаралья и юга Тургайского прогиба известны индикационные исследования И. К. Абросимова (1971 г.), Е. А. Востоковой (1973 г.), Н. Н. Дарченковой (1970 г.) и С. В. Викторова (1975 г.). Опираясь на эти источники и на результаты наших работ, можно предложить для этих районов сводную индикационную таблицу (табл. 24). В ней для эктоярусов, наиболее распространенных ландшафтов Северного Приаралья и Южного Тургая приведены соответствующие им элементы инженерно-геологических условий. Но поскольку таблица является обобщенной и до какой-то степени приближенной, то в каждом конкретном районе требуются специальные индикационные исследования для проверки, уточнения и дополнения индикационных связей. И вместе с тем в каждом случае приведенная таблица может служить отправной точкой исследований.

Наиболее интересна в таблице связь слабоволнистой поверхности с биургуново-серополынным комплексом с сильноупрелеватыми песками. В более южных районах обычно присутствие биургуновых сообществ на суглинках. Только М. Д. Спиридоновым была отмечена приуроченность биургуна к пескам в массиве Чагыры, что объяснялось импульверизацией глинистых частиц. Этот факт является наглядным примером регионального характера индикационных взаимосвязей.

В песчаных массивах рассматриваемой территории наблюдается четкая связь эктоярусов ландшафтов с содержанием физической глины, а наличие песчаных частиц сильно варьирует.

Указанный в таблице один из индикаторов гипсоносных глин (наклонные пухлые поверхности с преобладанием поташников и других гипсифитов) является индикатором лишь одной из стадий выветривания этих глин и представляет собой аналог глинистых пухляков.

Для территории Северного Приаралья намечен целый ряд ПТК, индицирующий различные стадии выветривания гипсоносных глинистых пород. Обнаженная поверхность, лишенная растительности, индицирует, по-видимому, самые первые моменты выветривания с высоким хлоридно-натриевым засолением. Участки со сростками гипса на поверхности почвы с преобладанием поташников (глинистый пухляк) индицируют вторую стадию, когда преобладает сульфат-ион, хотя засоление еще остается высоким. Наконец, третья стадия, когда засоление заметно уменьшается, индицируется преобладанием сурана (*Suaeda physophora*), а на еще более поздней фазе—с преобладанием *Atriplex nitens* и *Anabasis gypsicola*. Большая часть этих индикаторов хорошо различима лишь аэровизуально. Наиболее заметным индикатором обводненных разрывных нарушений на рассматриваемой территории являются бугры-булаки, которые представляют собой небольшие бугры (до 2 м высоты) с фреатофильной растительностью (тростник и др.). Иногда на их вершине располагается небольшой водоем, возникший, как и весь бугор, благодаря наличию восходящего источника.

Часто бугры окружены кольцом солончака, хотя воды самих бугров обычно пресные (не выше 2,0 г/л). Бугры-булаки хорошо заметны на аэрофотоснимках и вытянуты на них в прямые линии.

Мий, или грязевой источник, представляет собой бугор, часто с плоской вершиной, до 1,5 м высоты. Обычно он лишен растительности, под сухим слоем в 5—10 см лежит густая грязь. На более поздних стадиях развития на возвышении могут развиваться фреатофиты. Не исключено, что в дальнейшем мий может превратиться в бугор-булак. Нами наблюдалась также другая форма мия (возможно, начало развития)—пятно, лишенное растительности и напоминающее застывшую поверхность кипящей жидкости. Происхождение миев связывают с напорными водами и с процессами пучения. При зондировании нами не наблюдалось мия—следов ледяного ядра. Мибы были приурочены к разлому.

**Ландшафтно-индикационная таблица некоторых инженерно-геологических условий Северного Приаралья и Южного Тургая**

	Механический состав грунта	Гидрологические условия		
		гидродинамич- кие условия	Уровень грунто- вых вод, м	минерализация вод, г/л
Экторус ПТК	Суглинки, супеси и сильнолыгавые пески, ионопла подстилаемые глиниами	Грунтовые воды отсутствуют		
Выровненная, иногда слабоволнистая поверхность с преобладанием биоруна и участием эфемеров (иногда с западинами)	Суглинки, супеси и сильнолыгавые пески, ионопла подстилаемые глиниами			
Слабоволнистая поверхность с комплексом эфемерово-биоруновых и эфемерово-сероподенных сообществ пылеватая, засоленные обычно с черным саксаулом	Песок рыхлый, песок слизистый и супесь сильнозасоленные	То же		
Микробугристая равнина с сочетанием биоруников, дуухловатых мицроловышений с единичными солянками, такыровидных понижений и микрозападин с господством кокпека, иногда черной полыни, а также пухловатых солончаков с преобладанием лебеды бородавчатой	Глины и суглинки, сильнозасоленные			
Выровненная такыровидная поверхность с разреженным биоруном (Anabasis brasiliata, A. truncata), соленные, иногда с отдельными просадками	Суглинки, подстилающие глины, сильнозасоленные	Грунтовые воды отсутствуют		
9 Микrozападинная поверхность с преобладанием биоруна и с чернотолинной растительностью в западинах	Песок пылеватый и глинистый, супесь, суглинок промежуточный с редкими прослойками среднего	Область транзита	5—10	Соленые и солоноватые
Волнистая поверхность с преобладанием мягтика, белой полыни с участком ажрека, ковыля, иногда кустарников	Пески рыхлые	Область транзита	5	Пресные и солоноватые
Выровненная или слабоволнистая поверхность с преобладанием белой полыни, эрека со значительным участием кустарников (герескен, джузгун, курчавка)	Бугристо-ячеистые, среднезакрепленные пески с преобладанием эрека, чагура, полыни Келлера с участием кандыма, с вкрашением чуртов с преобладанием ивы, тростника, ложа	Область частичного питания и разгрузы подпесчаной линзы	0,5—2,5 по по-нижениям и 2—6 — под буграми	Пресные
Расчлененные, слабозакрепленные, барханные и барханно-бутистые пески с преобладанием пионаров-памфитов, тростника, чия, солодки	То же	Гидрокарбонаты, ионограда сульфаты	0,5—2,5 по по-нижениям и 2—6 — под буграми	Гидрокарбонаты

Таблица 25

**Обобщенная индикационная схема для определения некоторых инженерно-геологических условий в Прикаспии и Актюбинском Приуралье**

Индикаторы и их сочетания	Индикаты
Пологоволнистые или почти плоские равнины с преобладанием сообществ полыней и злаков	Слабозасоленные или среднезасоленные супеси и суглинки. Грунты более легкого гранулометрического состава обозначаются ростом обилия злаков
Равнины, аналогичные предшествующим, но с многочисленными кустарниками округлыми пятнами (иногда тяготеющими к замкнутым понижениям)	Развитие суффозионных процессов (кустарниковые пятна на равнине обозначают наиболее ранние их стадии)
Бидаяки, или «шопта-куль», — понижения среди равнин, округлые или овальные, блюдцевидные с сомкнутой луговой растительностью (чаще всего пырейные луга)	Участки с неглубоким залеганием водоупорных глин и тяжелых суглинков. Грунтовые воды не глубже 5 м (большей частью слабосолоноватые)
Томары — округлые или овальные понижения среди полынных равнин с сильночекотавым дном, группами болотного купротравья (тростник), сочных солелюбивых растений и с пятнами солей на мокрой вязкой почве	Участки с неглубоким залеганием водоупорных, сильнозасоленных пород (иногда формируются ниже выхода соленых родников). С поверхности до 1—2 м залегает жидкий соленый ил. Воды соленые, не глубже 5 м
Соры — понижения среди полынных равнин с дном, покрытым сплошным налетом солей; по окраине узкая полоса сочных солелюбивых растений. Выделяются мокрые соры (с тонкой соляной коркой) и бронированные (с мощной коркой)	Участки с тяжелыми засоленными грунтами или же заиленными засоленными песками. Под поверхностью бронированного сора обычно лежит слой жидкого соленого ила
Чагылы — группы барханов с разреженной песколюбивой растительностью; характерны глубокие воронки выдувания, лишенные растений	Мощные толщи перевеваемых, сыпучих, хорошо аэрируемых песков. Часто служат областью питания подпесчаных линз грунтовых вод
Чуроты — котловины выдувания с пышной влаголюбивой растительностью. Часть среди чагылов	Пески сильнозасоленные, с прослойми органических остатков, влажные. Воды, от пресных до слабосолоноватых, не глубже 3—5 м
Предпески, или кумак — волнистые равнины по окраинам песчаных массивов, покрытые полынно-злаковыми сообществами с участием фреатофитов (тростник, чай)	Пески закрепленные, незасоленные, обычно пылеватые, с многочисленными прослойями супесей и суглинков. Пресные или слабосолоноватые воды не глубже 5 м

## Продолжение табл. 25

Индикаторы и их сочетания	Индикаты
Кучугуры — бугристые или бугристо-грядовые формы скоплений песков со злаковой (преимущественно житняк сибирский) или полынно-злаковой (песчаная полынь или чагыр) растительной формацией. Часто сочетаются с чагылами, чуротами и окружены предпесками	Пески закрепленные, слабозасоленные, обычно пылеватые, глубже 3—5 м значительно уплотнены

Связь аналогичных образований с линиями разломов отмечается и другими исследователями.

Комплекс индикационных исследователей, выполненных в Прикаспии и Актюбинском Приуралье значителен, но итоги его уже освещены в литературе, в недавно опубликованных обзоре и в сводной работе [18]. Поэтому мы ограничимся приведением для этих регионов единой обобщенной индикационной схемы, внеся в нее некоторые дополнения по итогам полевых работ последних лет (табл. 25).

Все перечисленные индикаторы удовлетворительно опознаются на АФС. Наименее различимы равнины со злаково-полынной растительностью. Их переход друг в друга очень постепенен. Возможность дешифрирования чагылов и кучугуров не вызывает сомнений [42]. Различные типы понижений отличаются от окружающей равнин темным фототоном, за исключением соров, имеющих почти белый фототон. Бидаяки имеют гомогенный темный слитный фототон, а томары — пестрый мозаичный сложный рисунок. Чуроты среди чагылов и кучугуров обнаруживаются в виде интенсивно темных многочисленных мелких пятен. На окраинах песчаных массивов чуроты могут быть неизолированными окружающими, а создавать сложные извилистые темные полосы по границе песков и окружающей их равнине. Оптимальным периодом для различия всех перечисленных индикаторов является конец лета, когда максимально выявляется контраст в условиях увлажнения различных ПТК.

## Глава VI

### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ

#### ОСОБЕННОСТИ АЭРОЛАНДШАФТНОЙ ИНДИКАЦИИ В ГОРАХ

По сравнению с индикацией на равнинных территориях индикация в горах разработана недостаточно полно. Объясняется это тем, что она более сложна и многообразна. Специфика горных ландшафтов заключается в резкой высотной дифференциации природных комплексов, их пестрой мозаичной структуре и значительной динамичности, что связано с высотной климатической и геоморфологической зональностью, резким расчленением рельефа, контрастами экспозиций склонов, широким проявлением экзогенных склоновых процессов, высокой сейсмичностью и неотектонической активностью горных территорий.

Применительно к горным странам опыт использования аэроландшафтной индикации при инженерно-геологических исследованиях невелик и представлен частной индикацией отдельных элементов инженерно-геологической обстановки.

Определенный интерес представляют исследования горных стран, рассматривающие их ландшафтную дифференциацию (И. П. Чалая, 1965 г.), а также работы, изучающие изменчивость их геологических и инженерно-геологических условий (Н. П. Костенко, 1975 г., Е. М. Сергеев, 1979 г. и др.).

Для целей индикации инженерно-геологических условий необходимо рассмотрение как общих физико-географических закономерностей, так и особенностей морфологической структуры ландшафтов горных стран.

Главной особенностью горных ландшафтов является их высотная зональность. Однако в горах сохраняет свое значение и широтная физико-географическая зональность. Ее влияние выражается в типах высотной зональности. Каждой широтной физико-географической зоне соответствует свой типичный спектр высотных зон, их число, последовательность смены, высотные пределы и т. д. Полнота высотной зональности определяется при данных зонально-секторных условиях масштабом поднятия горной страны.

Огромное влияние на формирование структуры ландшафтов в горах оказывает экспозиция склонов, среди которой различают: макроэкспозицию (главных склонов и отдельных хребтов, возникшую вследствие орогенических движений), мезоэкспозицию

(склонов второго порядка) и местную, локальную экспозицию (склонов третьего и более высоких порядков).

Слоны хребтов разной макроэкспозиции часто имеют различный спектр высотной зональности. Кроме того, экспозиционные различия чаще всего выражаются в том, что границы высотных зон и ландшафтов на более солнечных склонах смешены вверх по сравнению с теневыми склонами. Мезоэкспозиция и локальная экспозиция сказываются на обособлении ландшафтов, местностей, уроцищ и т. д.

Выделение ландшафтов в горах, как и на равнинах, связано с особенностью геологического строения и историей развития, т. е. обусловлено структурно-неотектоническими факторами крупного порядка. Однако, в отличие от равнинного, генезис горного ландшафта значительно сложнее и носит стадийный, циклический характер. Как отмечает Г. П. Миллер (1976 г.), различия между параллельными категориями ПТК гор и равнин возрастают по мере увеличения их ранга. Он подчеркивает, что геоструктурное единство блока, на котором развивается горный ландшафт, не означает литологической однородности. По нашему мнению, единство геологического «фундамента» в случае горного ландшафта должно означать единую крупную морфоструктуру (например, систему однотипно развивающихся блоков), представленную единой формацией или субформацией дочетвертичных литифицированных пород \*, характеризующуюся единственным генетическим типом рельефа\*\*.

Так, например, среди ландшафтов Заилийского Алатау мы выделяем «ландшафт гляциально-нивальных высокогорий (абс. отм. свыше 3600 м) на системе блоков главного водораздела, поднятых выше снежной линии, сложенных породами каледонской метаморфической формации (с участием пород герцинской интрузивной гранитоидной формации), с прерывистым чехлом четвертичных отложений формаций горного оледенения и горных склонов, с глубоко расчлененным рельефом тектонико-структурно-денудационного типа с ледниковой и гравитационной моделяровкой, лишенный почвенно-растительного покрова».

Такое определение горного ландшафта не противоречит общим принципам выделения ландшафтов как таксономической единицы и содержит основные его диагностические признаки: генетическую и динамическую однородность, значительные размеры, взаимосвязь компонентов, индивидуальность морфологического строения и пр.

Структура горных ландшафтов [36, 37] значительно сложнее равнинных, а выделение в ней ландшафтов для целей индикации

\* На равнине это, как правило, — стратиграфо-генетический комплекс четвертичных пород.

\*\* Под генетическим типом рельефа мы понимаем комплекс разных положительных и отрицательных генетически связанных форм, развивающихся на участке с определенной геологической структурой, под действием одного и того же комплекса рельефообразующих сил, при одинаково изменявшемся во времени соотношении эндогенных и экзогенных факторов.

природно-территориального комплекса в ранге местности является необходимым.

Основой формирования морфологической части ландшафта — «местности» в горных условиях служит обособившийся в пределах крупной морфоструктуры генетически единый комплекс мезоформ рельефа, которому соответствует единая формация четвертичных отложений (определенный набор генетических комплексов) или часть формации дочетвертичных литифицированных пород. Такой комплекс мезоформ рельефа является результатом вторичных (по сравнению с общим становлением орогена) процессов: денудации, аккумуляции, эрозии, оледенений, вулканической деятельности.

Первичный, структурно-обусловленный рельеф под действием этих процессов претерпевает «скользящую» обработку (эрэзионное расчленение, ледниковую моделировку, образование вулканических построек и т. п.).

Формированию вторичного рельефа соответствует определенный тип четвертичного осадкообразования: 1) элювиальный, или водораздельный, — деструкция вследствие выветривания коренных пород и обломочного материала на пологих и наклонных водоразделах; 2) склоновый (коллювиальный и делювиальный) — перемещение обломочного материала по склонам хребтов до местного базиса денудации, главным образом до dna долин; 3) долинный — транспортировка обломочного материала из горного сооружения в область общей аккумуляции; 4) ледниковый — транспортировка и отложение обломочного материала ледниками.

В свою очередь, определенная формация четвертичных отложений (формация горного оледенения, горных склонов, предгорных равнин и конусов выноса) в сочетании с факторами палеоклиматических и современных климатических условий предопределяют развитие в пределах местности определенного характерного комплекса экзогенных геологических процессов.

Таким образом, степень единства (однородности) литогенной основы «местности» ограничена более строгими условиями по сравнению с ПТК в ранге ландшафта.

Дальнейшее расчленение горных ландшафтов (на уроцища) определяется специфическими факторами морфогенеза, среди которых ведущую роль могут играть: ледниковая эрозияция или абляция, гравитационный снос, водная эрозия, пролювиальный снос, плоскостной смыв, морозное выветривание и т. д.

При обособлении уроцищ важную роль играют крутизна и форма склонов, уклоны тальвегов трогов и эрозионных долин, а также их экспозиция (местная, локальная). Это обуславливает, в свою очередь, в пределах уроцища определенный режим обводненности и преобладание характерного типа современных экзогенных процессов, что сильно сказывается на их эктоярусах. Примером уроцищ в горах могут служить: склон определенного генетического типа (делювиальный, осыпной, оползневой и т. д.) одной экспозиции или часть склона, выровненная водораздельная по-

верхность, седловина на водоразделе, моренная гряда, речная терраса, русло реки и т. д.

Таким образом, литогенной основой (геологическим фундаментом) горного уроцища служит генетически единая мезоформа рельефа определенного типа и возраста, развивающаяся в определенном, соответствующем ей, стратиграфо-генетическом комплексе отложений (может быть, литологически неоднородном) и характеризующаяся определенным режимом обводненности и преобладанием того или иного типа современного экзогенного процесса.

Обособление фаций в пределах уроцища связано с образованием микроформ рельефа (отдельных небольших конусов выноса, эрозионных желобов, лавинных лотков, термокарстовых воронок и т. д.).

Для фаций характерны единая почвенная разность и единый биоценоз. Уроцище обладает вполне определенным набором почвенных разностей и растительных сообществ. Горная местность располагается в пределах одного высотного почвенно-растительного пояса. Ландшафту свойственно определенное сочетание нескольких почвенно-растительных поясов с преобладанием какого-либо одного из них.

Основным элементом инженерно-геологических условий, отображаемых на среднемасштабных картах, являются стратиграфо-генетические комплексы пород и их инженерно-геологическая характеристика. Они и являются основным индикатором при работах в горах.

Более детально рассматриваются нами нелитифицированные отложения четвертичного возраста, так как для них характерна наибольшая пространственная изменчивость строения и состава, а также пораженность их современными экзогенными геологическими процессами. Они в основном определяют региональную инженерно-геологическую оценку территории (применительно к исследованиям, производимым для сооружений неглубокого заложения).

В качестве индикаторов стратиграфо-генетических комплексов отложений используются физиономические особенности эктоярусов уроцищ. Ведущими индикаторами являются сочетания рельефа и растительности. Диагностическими признаками эктояруса уроцищ при дешифрировании аэрофотоснимков служили ограниченность контура одной мезоформой рельефа (или ее части, однородной по экспозиции, форме и крутизне) и особенности морфологической структуры, представляющей собой сочетание определенных фаций.

В пределах выделенных типов ландшафтов уроцища объединяются в типы местности по характерным признакам современного рельефообразования (денудации или аккумуляции) и типу осадконакопления (элювиальному или водораздельному, склоновому и долинному).

Таблица 26

**Схема соподчиненных типологических ландшафтных единиц  
для целей индикации инженерно-геологических условий  
горных территорий при съемке средних масштабов \***

Типы ландшафтов	Типы местности
I. Альпийский высокогорный гляциально-нивальный (свыше 3700 м)	I—А. Островершинные водораздельные гребни и пики, водораздельные покровные ледники и снежники I—Б. Крутые склоны троговых долин ледниковых цирков и каров I—В. Днища троговых долин, цирков и каров
II. Альпийско-субальпийский высокогорный луговой (2600—3700 м)	II—А. Узкие скалистые гребневидные водоразделы II—Б. Крутые высокие склоны троговых и эрозионных речных долин II—В. Днища троговых долин, эрозионных речных долин, ледниковых цирков и каров
III. Среднегорный хвойно-лесной (1700—2700 м)	III—А. Выпуклые вершинные поверхности, слаженные водоразделы III—Б. Слоны эрозионных речных долин, придолинные конусы и шлейфы накопления III—В. Днища эрозионных долин
IV. Лиственочно-лесной высоких предгорий (1300—3200 м)	IV—А. Увалистые водораздельные поверхности гряд, покатые плакорные поверхности, реликты пленепланов IV—Б. Слоны эрозионно-аккумулятивных речных долин, увалов и гряд, эрозионно-оползневых цирков IV—В. Днища эрозионно-аккумулятивных речных долин, котловин, блоков и оврагов
V. Сухостепной низких предгорий (900—2400 м)	V—А. Увалы, выровненные наклонные водораздельные поверхности рек, балок, оврагов V—Б. Невысокие склоны эрозионно-аккумулятивных долин, балок и оврагов V—В. Террасированные днища эрозионно-аккумулятивных речных долин, предгорные конусы выноса

\* Названия типов ландшафтов и типов местностей даны с некоторыми сокращениями.

Значительная обособленность наиболее крупных элементов ландшафтной структуры горных регионов вынуждает разрабатывать для них отдельные индикационные схемы. О. А. Осипова предложила создавать обособленные схемы для отдельных высотных поясов в Саянах. Однако этого недостаточно. Целесообразнее разработка независимых схем для каждого типа ландшафта или для каждого типа местности. Поэтому в горных районах обязательным этапом на пути подготовки к индикационным исследованиям становится составление достаточно детальной ландшафтно-типологической классификации изучаемого региона.

**ОПЫТ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ЛАНДШАФТНЫХ ИНДИКАТОРОВ  
НЕКОТОРЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ  
ДЛЯ ГОРНОЙ СИСТЕМЫ ТЯНЬ-ШАНЯ**

Как уже отмечалось выше, аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в горах разработана пока слабо. Одним из регионов, где эти разработки выполнены с наибольшей полнотой, является Тянь-Шань. Здесь нашими исследованиями были охвачены Заилийский Алатау и части Чаткальского и Ферганского хребтов. Нами были также обобщены индикационные исследования, произведенные геоботаническими партиями Всесоюзного аэрогеологического треста в горном обрамлении Ферганской долины. В соответствии с тем, что было сказано в предыдущем разделе, индикационные схемы разрабатывались для отдельных типов ландшафтов и местностей. Перечень этих элементов ландшафтной структуры дается в табл. 26.

Ниже мы рассмотрим те ландшафты, в которых индикация особенно необходима вследствие их слабой доступности для наземных работ.

Одним из наиболее сложных в индикационном отношении типов ландшафтов является альпийский гляциально-нивальный. Здесь ввиду почти полного отсутствия растительного покрова набор индикаторов очень беден, а экзогенные процессы высокогорья часто нивелируют физиономические различия между индикаторами. Слабая проходимость его общеизвестна. Все это заставляет уделить этому типу ландшафтов особое внимание. В табл. 27 сведены индикаторы, выявленные нами в его пределах (в основном применительно к Заилийскому Алатау). Обращает внимание то, что при почти полном отсутствии проявлений фитофизиономичности и при широком распространении орофизиономических площадей здесь проявляется еще одно оригинальное свойство ландшафтов высокогорий, а именно: криофизиономичность, т. е. господство во внешнем облике территорий скоплений льда и снега.

В альпийско-субальпийском высокогорном луговом типе ландшафта набор индикаторов становится несколько разнообразнее за счет появления различных типов субальпийский лугов. Однако различимость их на АФС довольно низка, поэтому в целом про-

**Индикаторы инженерно-геологических условий  
высокогорного гляциального-нивального ландшафта**

Тип местности	Индикатор. Экторусы (внешний облик) уровни и их индекса	Ведущие ландшафтовые признаки на АФС средних масштабов	Индикат
I-A	I-A-1. Лед и фирн, местами с выхоладами отдельных скал и гребней	Песчаник белый тон, гомогенная структура. Темные пятна выходов скал.	Ледники и снежники покровного типа на водоразделах, сложенных скальными интрузивными или метаморфическими породами. Абляция краевых частей. Движение ледников Метаморфические и интрузивные породы. Морозное выщеривание, камнепады, обвалы, осыпание
I-B	I-B-2. Системы обрывистых гребней и вершин с накипинами. Отрицательные элементы рельефа заняты снежниками	Темно-серый тон, пятнистый контрастный рисунок. Обычна резкая тень от гребней и вершин	Дочетвертичные литифицированные породы с маломощным (менее 2 м) чехлом осьпей. Морозное и подследниковое выщеривание, камнепады, осыпание
	I-B-3. Крутые склоны троговых долин, ледниковых каров и цирков, часто со снежниками	Тон от светло-серого до темно-серого. Рисунок полосчатый. В нижней части склона — мелкий зернистый рисунок крупнообломочных осьпей	Коллювиальный голоценовый комплекс, осыпная фация. Дресва и щебень с незначительным количеством мелкозема. Морозное и подследниковое выщеривание. Осыпи-плани
	I-B-4. Крутые (25—40°) склоны северной и северо-восточной экспозиции трогов, цирков и каров, с остатками снежников в ложинах, лишенных растительности	Темно-серый или серый тон. Полосчатый и линейно-структурный рисунок. Последний образует желоба гравитационного стока, заполненные снегом	Светло-серый, серый тон. Сложный рисунок образован желобами сноса. Характерная форма — слившиеся треугольники (элементарные конусы на конусе). Продолжение конуса вверх — желоб сноса
	I-B-5. Шлейфы осьпных конусов в пологой нижней части склонов трогов с желобами сноса, лишенные растительности	Светло-серый, серый тон. Сложный рисунок образован желобами сноса. Характерная форма — слившиеся треугольники (элементарные конусы на конусе). Продолжение конуса вверх — желоб сноса	Колловиальный голоценовый комплекс, осыпная фация. Дресва и щебень с мелкоземистым заполнителем. Осыпи-плани
	I-B-6. Крутые и средней крутизны склоны южной и промежуточных экспозиций троговых долин, лишенные растительности (иногда в нижней части группы подушковидных растений)	Серый тон, гомогенная структура, едва замечаемая полосчатость. Темные пятна — скопление подушковидных растений	Колловиально-солифлокционный, голоценовый. Дресва и щебень со значительным количеством мелкоземистого заполнителя (25—30%). Реже язвения, солифлокция
	I-B-7. Пологие террасовидные склоны южной и промежуточной экспозиций. Изредка с группировками ковровых и подушковидных растений с характерным валниковым микрорельефом	Серый, светло-серый тон. Удлиненные пятна, кулисообразно расположенные полерек склона. Иногда чешуйчатый, гофрированный рисунок (при более мелких формах)	Ледниковый (солифлюкционно-мореный) голоценовый. Глыбы, валуны, глянцевый лед, мелкозернистый заполнитель 20—30%. Сверху солифлокционно-моренные отложения. Термокарст, оползни, обвалы, очаги солеобразования. Обводнение по пустотам
	I-B-8. Наклонные, различной крутизны (10—35°), грядово-буристые поверхности с термокарстовыми воронками и озерками (изредка с группировками подушковидных растений в нижних частях гряды)	Светло-серый тон. Концентрическая полосчатость (следы движения). Мелкая зернистость. Наличие термо-карстовых понижений и озер. Прикасает к современным ледникам или снежникам. Форма контуров языкообразная. Отсутствует эрозионное расщепление	Лед, фирн, снег (в стадии деградации). Абляция
	I-B-9. Ледники и снежники, окруженные скалистыми гребнями	Светло-серый до белого тон. Округлые и продолговатые контуры, окруженные темным прерывистым бордюром	

## Индикаторы инженерно-геологических условий в высокогорном луговом ландшафте

Тип местности	Индикатор. Экотуры (видинный облик) урошищ и их индексы	Внешние геодифференциальные признаки на АФС средних масштабов	Индикат
II-А	II-А-2. Системы узких водоразделельных гряд и отдельных вершин, сложенных скальными породами, с налегами лиан/лианников и фрагментами низкогорных лужаек в понижениях. (Аналогичен I-А-2)	Резкие тоновые контрасты. Рисунок многоугольно-решетчатый, ромбовидный, параллельно-линейный	Дочетвертичные литифицированные породы: палеозойские гранитоиды, габбророды, вулканогенно-осадочная формация (туфы, песчаники). Физическое выветривание, осьпли, камнепады, обвалы
II-Б	II-Б-10. Крутые склоны южной, юго-восточной и восточной экспозиций эрозионных речных долин с хорошо развитыми древовидными желобами осьпей, с альпийскими лужайками и стланниковой арчи. Желоба стока лиценены растительностью	Сложная полосчатая структура. Серый тон, микрозернистость и полосчатость образуют осьпли, темный тон — скальные выходы и альпийские выхолами склонов стока, с альпийского стока, с альпийскими лужами в нижней части и у скальных останцов. В желобах стока отсутствует растительность	Литифицированные дочетвертичные породы гранитоидной интрузивной формации или эфузивно-осадочной формации. Стока — малоизмененный коллювий. Осыпи, потоки, физическое выветривание, осьпли, снежные лавины
	II-Б-11. Крутые и средней крутизны склоны южной и промежуточной экспозиций с хорошо развитыми веерообразными формами коллювиального стока, с альпийскими лужами в нижней части и у скальных останцов. В желобах стока отсутствует растительность	Серый тон. Линейно-полосчатая веерообразная структура. «Локальная точечность и пятнистость образованы выхолами склоновых пород и альпийскими лужайками	Коллювиальный голоценовый. Щебень и дресва с мелкоземистым заполнителем (более 35%) и включением глыб. Активные осьпли-потоки, переходящие в плоскостной снос. Осыпи-плазми, эрозия, снежные лавины
	II-Б-12. Скалоны эрозионных речных долин средней крутизны с субальпийскими лугами и зарослями стланниковой арчи, иногда с фрагментами ельников	Серый и темно-серый тон, неравно-мерно- пятнистая и мелкозернистая структура. Пятна — субальпийские луга, зернистость — арчевник, темные точки — кроны елей	Деловиалильно-коллювиальный неоплейстоцен-голоценовый. Щебень и дресва со значительным количеством мелкозема (до 50%). Осыпи — задернованные неактивные, эрозия, срывы, осьпли
	II-Б-13. Шлейфы осьпных конусов, накапливания придолинной части склонов, крутонаклонные с фрагментами альпийских лугов, стланниковой арчи и елей. На действующих осьпах разительность отсутствует или разрежена	Тон от светло- до темно-серого, мелкозернистая структура. Характерная форма — слившиеся треугольники. Нередко полосчатость образована расщепленностью, подчеркивающей направление коллювиального стока	Коллювиальный неоплейстоцен-голоценовый. Щебень, дресва и глыбы с незначительным количеством (до 20%) мелкоземистого заполнителя. Акумуляция осьпного материала, срывы
	II-Б-14. Верхние пологие, выровненные части склонов южной экспозиции, сложенные мелкоземом, с характерным валниковым микрорельефом, с фрагментами субальпийских низкогорных лужаек. Часть разрывы почвенно-растительного покрова	Серый тон. Продолговато-яйцевидная чешуйчатая структура образована на микроформами и западинами, разрывами почвенно-растительного покрова	Коллювиально-солифлюкционный голоценовый. Щебнистые суглинки, обводненные
	II-Б-15. Склоны северной, северо-западной экспозиции средней крутизны, со 100%ным проективным покрытием альпийскими лугами и фрагментами лессов	Серый тон. Темнотонность на фоне гомогенной структуры образована кронами елей	Деловиалильно-коллювиальный лейстоцен-голоценовый. Щебнистый суглинок. Проявления процессов отсутствуют
II-В	II-В-16. Моренные тяды, слабонаклонные, с волнистой бугристой поверхностью. Растительность представлена редкими группировками пионерных травянистых растений	Аналогичны уроцищу II-В-8. Различие составляет следующие признаки: расположение ниже уроцища II-В-8, наличие эмбриональной, слаборезанной эрозии, меньшее количество термокарстовых понижений, более ровная поверхность	Ледниковый голоценовый. Глыбы, щебень, дресва со значительным количеством мелкозема (35%), иногда до 60%. Верхний слой представлен морено-солифлюкционным комплексом. Термокарст, обвалы, супфrozия, эрозионные селевые очаги

Тип местности	Индикатор. Эктоярусы (внешний облик) уровни и их индекса	Ведущие дешифровочные признаки на АФС средних масштабов	
			Индикат
II-B.	II-B-17. Моренные гряды средней крутизны, увалисто-буристые, с фрагментарными альпийскими лужайками (проективное покрытие 20—50%)	Более темный тон, образуемый альпийскими лужайками; зернистобеспрядочно-пятнистая «кружевная» структура. Характерно положение II-B-16. Границы контура разные. Форма контура языкообразная	Ледниковый, неоплайстоценовый. Щебень и глыбы с дресвяным заполнителем (30—50%). Обвалы и оползни-обвалы
	II-B-18. Моренные гряды средней крутизны с бугристой поверхностью, покрыты альпийскими лугами (проективное покрытие 70—80%), со стальниковым арчей (проективное покрытие 20%) и рошицами елей	Наиболее темно-серый тон, нежно- пятнистая структура, образуемая лугами, местами — зернистость, образуемая крупными глыбами. Форма контура — языкообразная. Гипсометрическое положение ниже II-B-17	Ледниковый, неоплайстоценовый первого этапа оледенения. Глыбы, щебень и дресва с мелкоземом (25—35%). Обвалы, супфузия
	II-B-19. Выровненные, наклонные к руслу и в направлении течения рек, террасы вдоль русел главных рек, с высокотравными альпийскими лугами, кустарниковыми зарослями, участками еловых редин	Равномерно-серый тон, бесструктурное изображение. Характерно местоположение. Примыкают к главным водотокам	Флювиогляциальный, мезоплейстоцен-неоплайстоценовый. Галька и валуны с гравийно-песчаным заполнителем. Эрозия, оползни, срывы, селевые очаги
	II-B-20. Долина ручьев, сложенная крупнообломочными отложениями, линзовидными растительностями. Иногда на участках расширения поймы — фрагменты кустарниковых зарослей и приречных низкотравных лужаек и склонами еловых редин	Светло-серый, белый тон. Струйчатый, иногда бесструктурный рисунок. Форма контуров — удлиненные узкие полосы, осложненные «газузирами», образованными эрозионными срывами или осадами	Аллювиально-пролювиальный, голоценовый. Валуны, галька, глыбы, песок. Донная и боковая эрозия. Акумуляция селевых выносов

должает господствовать орофизионичность. Криофизионические элементы исчезают. Из растительных индикаторов надежно различимы лишь арчевый стланник и немногие кустарниковые заросли. Остальная растительность (луга, ковры альпийских и субальпийских растений) воспринимаются как нечто недифференцированное и поэтому в индикационных схемах приходится ограничиваться только констатацией ее наличия или отсутствия. Даные для лугового ландшафта сведены в табл. 28.

Как видно из последней таблицы, по мере перехода от крайних высокогорий к более низким поясам все большее индикационное значение приобретают последовательность расположения урошищ, эктоярусы которых выступают в качестве индикаторов, ландшафтное соседство. Это особенно четко проявляется в урошицах II-B-16, II-B-18, II-B-19, где их контакты становятся диагностическим признаком. Следует отметить, что соседство и взаимное гипсометрическое расположение имеют большое значение при индикационном дешифрировании в горах. Нередко наблюдаются случаи, когда некоторые физиономически трудноопознаваемые индикаторы распознаются только по своему положению.

В нижележащих типах ландшафтов (III—IV), где растительность выражена в виде хвойных (III) и лиственных (IV) лесов, индикаторы разнообразны и хорошо различимы, поскольку здесь большое значение приобретает как контраст лесопокрытой и лесонепокрытой площадей, так и смена типов леса, хотя ведущее значение сохраняется все же за геоморфологическими индикаторами. На молассовых толщах в нижней части типа ландшафта IV типично появление злаковых высокотравных степей. Наконец, в предгорьях в качестве индикаторов выступают эктоярусы сухостепных и полупустынных ландшафтов, которые физиономически примыкают к ландшафтам аридных равнин и рассматриваются в качестве предгорных пустынь.

Рассматривая эктоярусы (внешний облик) урошищ в качестве индикаторов стратиграфо-генетических комплексов и их инженерно-геологических особенностей, целесообразно использовать понятие ландшафтно-генетических рядов, что может углубить понимание динамики экзогенных процессов и осадконакопления.

Для исследуемой территории выявлены два типа ландшафтно-генетических рядов, построенных в основном по морфогенетическим признакам рельефа с привлечением геоботанических признаков: 1) ряды, связанные с проявлением различных стадий одного и того же, ведущего в осадконакоплении процесса; 2) ряды, связанные со сменой одного ведущего процесса осадконакопления другим.

При выделении рядов из морфогенетических признаков рельефа следует учитывать гипсометрическое положение урошища, сочетание микроформ рельефа, крутизну, форму, протяженность склона, степень расчленения; из геоботанических — наличие, характер растительности и степень покрытия ею субстрата.

В качестве примера рассмотрим ряд, характеризующий ледниковый комплекс четвертичных отложений.

Урочища, эктоярусы которых индицируют ледниковый комплекс отложений (I-B-8, II-B-17, 18, 19), представляют собой пространственный ландшафтно-генетический ряд (первого типа), отражающий различные стадии развития растительного покрова и деградирования мерзлоты ледниковых комплексов, индицируемых по степени проявления термокарстового процесса. Они соответствуют моренам различных возрастных генераций, отложенным в стадии межледниковой при определенной, свойственной каждой стадии, физико-географической обстановке, и индицируют соответственно комплексы: голоценовый — последней стадии оледенения, голоценовый — предпоследней стадии, неоплейстоценовый — второй стадии и неоплейстоценовый — первой стадии оледенения.

Общими для всех урочищ ряда дешифровочными признаками являются морфографические: приуроченность к днищам троговых долин, ледниковых цирков и каров; очертания контуров (языкообразное, удлиненное); строение микрорельефа (беспорядочное нагромождение крупных обломков, бугры и западины). Особым признаком урочищ ряда является структура аэрофотоизображения. Она определяется наличием и сомкнутостью растительного покрова, гранулометрическим составом поверхностных отложений, наличием вторичных признаков моренно-солифлюкционных процессов, степенью расчленения эрозионными врезами и термокарстовыми воронками и провалами. Все урочища ряда являются домinantными в типе местности «В» типов ландшафта I и II. Характерна пространственная сопряженность их с урочищами шлейфов осипных конусов (ПТК I-B-5 и II-B-13).

Поскольку ландшафтная индикация инженерно-геологических условий в горах находится в начальных фазах развития, нам казалось целесообразным оценить достоверность выявленных индикаторов, многие из которых установлены впервые. Поэтому для качественной оценки достоверности индикаторов и соответственно возможных пределов их экстраполяции были выполнены специальные работы.

При изучении ландшафтных связей для всех выделенных типов урочищ проводилось многократное (от 5 до 40) сопоставление эктоярусов урочища с генетическим типом отложений и его основными характеристиками (мощностью, гранулометрическим составом, плотностью сложения, наличием многолетнемерзлых пород, обводненностью и характерными экзогенными геологическими процессами).

Большинству стратиграфо-генетических комплексов четвертичных отложений соответствует несколько (от 2 до 6) типов урочищ, различающихся по морфологической структуре эктояруса и характеру аэрофотоизображения. Эти различия наблюдаются как при переходе из одного типа ландшафта в другой, так и в пределах типа ландшафта. Они связаны с местоположением урочища на склонах разных экспозиций, составом подстилающих пород,

стадией развития склона, интенсивностью проявления процессов, наличием, характером и степенью покрытия растительностью и пр. В соответствии с этим изменяются индицируемые инженерно-геологические условия комплексов (состав, мощность, плотность, обводненность). Тем не менее ландшафтно-индикационные связи в пределах этих урочищ остаются однозначными.

Для всех урочищ в большинстве (90%) случаев наблюдалось однозначное сопряжение эктояруса урочища с индицируемым генетическим типом отложений и его основными инженерно-геологическими характеристиками. Случай неоднозначной индикации (10%) связаны с полигенными комплексами четвертичных отложений формации горных склонов, имеющими переходный от делювия к коллювию и пролювию характер и приуроченными к границе среднегорного хвойно-лесного и лиственочно-лесного высокопредгорного типов ландшафтов. Из элементов инженерно-геологической характеристики неопределенного индицируется обводненность комплексов (наличие грунтовых вод и положение их уровня).

В целом можно констатировать однозначность ландшафтно-индикационных связей для большинства выделенных урочищ, а степень достоверности комплексной индикации оценить как высокую по шкале достоверности [13].

Результаты аэровизуальных наблюдений и дешифрирование аэрофотоснимков среднего масштаба на всей территории склона позволяют считать, что выделенные типы урочищ являются типичными.

Анализ материалов наземных исследований показал, что однозначные ландшафтно-индикационные связи внешних и внутренних компонентов урочищ сохраняются в пределах выделенных типов ландшафтов. Таким образом, пределом надежной экстраполяции комплексных индикаторов инженерно-геологических условий горной территории является тип ландшафта.

Основой экстраполяции могут служить таксономическая типологическая схема ПТК, карта типов ландшафта и установленные для генетических комплексов отложений ландшафтно-генетические ряды урочищ.

Вопрос о возможности дальнейшей экстраполяции комплексных ландшафтных индикаторов инженерно-геологических условий может быть решен на основе специального изучения степени аналогичности горных территорий (по генетическому типу, тектоническому строению, возрасту, палеогеографическим условиям, типу высотной ландшафтной зональности, макроэкспозиции, широтному и долготному местоположению и пр.). Однако, как показывает анализ литературных данных по другим регионам, случаи достаточно строгой аналогии горных территорий весьма редки, поэтому перспективы дальнейшей экстраполяции пока очень неопределены.

## Глава VII

### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ В СВЯЗИ С МЕЛИОРАЦИЕЙ

#### ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ПРИМЕНЕНИЯ АЭРОЛАНДШАФТНОЙ ИНДИКАЦИИ НА ПЛОЩАДЯХ, ПОДВЕРГШИХСЯ МЕЛИОРАЦИИ

В аэrolандшафтной индикации, применяемой к исследованиям, производимым в связи с мелиорацией, можно различить две формы — предваряющую индикацию и сопутствующую. Понятие предваряющей индикации включает аэrolандшафтные исследования, производимые в связи с проектированием будущих мелиоративных мероприятий. К сопутствующей индикации относятся исследования на территориях, где мелиорация уже осуществлена. В настоящей главе мы будем рассматривать только сопутствующую индикацию, поскольку предваряющая представляет собой обычные индикационные исследования в мало нарушенных или не нарушенных человеком системах ПТК.

Аэrolандшафтная сопутствующая индикация в районах мелиорации может иметь определенное значение, в первую очередь для оценки взаимодействия оросительных систем с окружающими территориями и для определения изменений, произошедших в них. Однако практика индикационных исследований, произведенных нами в сфере влияния Каракумского канала, Тедженского водохранилища и системы сброса поливных вод в районе впадины Катта-шор, показали, что применимость аэrolандшафтной индикации для решения этой проблемы не всегда одинакова и находится в связи с изменением характера воздействия мелиоративного сооружения на окружающую среду. Ландшафт мелиорируемых земель в ходе своего становления проходит ряд стадий и применимость ландшафтной индикации на этих стадиях различна. Первой является стадия полной техногенной деструкции естественного ландшафта, охватывающая период строительства и срок около 1—2 лет после его завершения. На местности и на аэрофотоснимке индикатором этой стадии является пестрое мозаичное сочетание форм поверхности (насыпей, карьеров, отвалов), почти лишенных растительности, за исключением немногих сорняков. Антропогенные формы маскируют естественный рельеф территории, что делает невозможной геоморфологическую индикацию, а отсутствие растений препятствует геоботанической индикации. Все это в целом делает ландшафтно-индикационные исследования на этой стадии неосуществимыми. Второй является стадия началь-

ной дифференциации мелиоративных вариантов естественных ландшафтов. В разных ландшафтах сроки ее различны. Например, в глинистых пустынях она начинается приблизительно через год после окончания строительных работ, в песчаных — через 2—3 года. Для нее характерно постепенное проявление естественной ландшафтной структуры сквозь наложенные на нее антропогенные наслойения. На этой стадии можно производить индикацию литоэдафических условий (гранулометрического состава, а в аридных регионах и засоления) преимущественно по геоботаническим индикаторам. Гидроиндикация невозможна. Данная стадия опознается по массовому развитию сорных и полусорных растений, среди которых много представителей естественной флоры, существовавшей до мелиорации. Особенно заметны в аридных орошающих регионах галофиты. По ним можно довольно точно устанавливать засоление. Обычно наблюдается массовое разрастание их по отвалам глинистого грунта, выброшенного на поверхность при строительстве и мало отмытого от солей. На поверхности отвалов однолетние солелюбивые растения образуют уже на второй год строительных работ довольно сомкнутые заросли. Поскольку эти растения обладают способностью осенью приобретать хорошо заметную пурпурную или оранжевую окраску, то их появление легко обнаруживается при аэровизуальных осенних наблюдениях и позволяет опознать скопления соленосного грунта. Следует отметить, что эти скопления оказывают отрицательное влияние на соседние территории, так как из них выносится значительное количество солей, на участки, контактирующие с отвалами.

Проследить ореолы засоления вокруг отвалов можно по расселению упомянутых галофитов и по формированию прерывистой полосы антропогенных солончаков вдоль отвалов.

Наиболее поздней является стадия образования ирригационных вариантов естественных ландшафтов, когда происходит дифференциация территории на участки, в основе которых лежат естественные природно-территориальные комплексы, модифицированные ирригационными воздействиями. Эта стадия начинается с момента пропуска воды по каналу. В ней аэrolандшафтная индикация становится возможной в полном объеме.

Сопутствующая аэrolандшафтная индикация имеет ряд своеобразных черт. Главнейшими из них являются: а) представление о том, что в ходе мелиорации возникают своеобразные варианты естественных ПТК (мелиоративные варианты), которые хотя и отличаются от исходных, но генетически с ними связаны; б) понимание мелиорации как некоторого процесса, к которому применимы соответствующие индикационные представления; в) изменение набора индикаторов за счет включения в него некоторых показателей, не используемых в естественных ландшафтах и, в частности, так называемых «индикационных признаков положения» и «агроэкологических индикаторов»; г) включение в комплекс составляемых карт некоторых новых видов, обусловленных спецификой ландшафтной структуры территорий, подверг-

шихся мелиорации. Ниже мы последовательно рассматриваем указанные особенности.

При сопутствующей индикации следует различать две наложенные друг на друга структуры изучаемой территории. Коренную ландшафтную структуру образуют ПТК, существовавшие до проведения мелиорации. Сама же мелиорация должна быть, в основном, отнесена к таким изменениям ПТК, которые не производят в них достаточно глубоких преобразований, а лишь заставляют их несколько варьировать. Таким образом, мелиорируемые массивы следует рассматривать не как новые ПТК, а как мелиоративные варианты ранее существовавших. Поэтому коренная ландшафтная структура территории остается основой, определяющей ее главнейшие, наиболее общие индикационные закономерности. На эту основу накладывается система мелиоративных вариантов, несколько ее маскирующая. Вследствие этого на освоенных площадях мы видим пестрое сочетание лугов, болот, солончаков и разнообразных угодий, подвергавшихся в той или иной мере осушению, орошению, распашке, посеву сельскохозяйственных культур, многолетних сеянных лугов, залежей и реликтовых фрагментов естественных форм рельефа. Весь этот пестрый комплекс пересечен обычно системой каналов и канав разного порядка. Одним из первоочередных этапов работ по сопутствующей индикации является вскрытие естественной ландшафтной структуры и выявление ее под наслойшимися на нее границами мелиоративных вариантов. С этой целью производится составление карт восстановленной ландшафтной структуры, а в равнинных районах со слаборасчлененным рельефом — карт восстановленного растительного покрова.

Для правильного понимания взаимоотношения индикаторов и индикаторов в мелиоративных вариантах естественных ПТК необходимо подходить к мелиоративной перестройке ландшафтной структуры как к некоторому процессу. Это позволяет применить при анализе этой перестройки представления о пространственной структуре процесса, обнаруживая его очаги и сферы воздействия, и используя всю систему представлений об индикации процессов, которая была изложена выше, выявляя ландшафтно-генетические ряды и интерпретируя их для индикации мелиорации.

Процессы по пространственной структуре своего проявления делятся на: 1) очаговые, развивающиеся из определенного обозначенного очага; 2) диффузные, возникающие одновременно во многих очагах; 3) эквипотенциальные, развивающиеся синхронно на определенной территории без отчетливо выраженных очагов. При работах в районах уже осуществленных мелиораций оказывается, что наиболее отчетливыми и стойкими различиями обладают первая и последняя группы, так как различие очаговых и диффузных процессов довольно условно. Как орошение, так и осушение являются хорошими примерами этой условности. Так, если рассматривать какой-либо ландшафтный контур, пересекаемый

осушительным каналом, то последний будет типичным обособленным очагом осушения и процесс должен быть определен как очаговый. Если же мы берем значительную совокупность ландшафтных контуров (различных рангов ПТК), которые пересекаются целой системой осушительных каналов, то в таких случаях можно констатировать множественность очагов осушения, и процесс должен быть определен как диффузный. Поэтому, рассматривая структуру процесса в районах мелиорации, целесообразно разделить процессы лишь на очаговые и эквипотенциальные, осушение же и орошение надо определять как очаговые процессы. Отсюда возникает необходимость определять очаги, поскольку именно этим способом можно установить влияние мелиорации на коренную ландшафтную структуру местности. При работах по сопутствующей индикации следует выделять очаги мелиорации двух порядков. Очагами первого порядка служат отдельные каналы, пересекающие осваиваемые массивы. Сам же массив выступает как сфера влияния такого локального очага. Естественно, что анализ системы, включающей очаг первого порядка и его сферы влияния, возможен лишь при крупномасштабных исследованиях. Очагами второго порядка выступают мелиорируемые массивы. Территории, прилегающие к очагам и подверженные влиянию процессов, происходящих в очагах, следует определить как сферы влияния.

При сопутствующей индикации пользуются некоторыми ранее не известными типами индикаторов, в частности, выделяя «индикационными признаками положения». Сущность их применения заключается в том, что при разработке индикационных схем для осваиваемых территорий и их ближайшего ландшафтного окружения необходимо считаться с положением того или иного ландшафтного контура относительно очага процесса, оценивая как степень его удаленности от очага, так и гипсометрическое соотношение, влияющее на гидродинамическую связь очага и данного контура. Таким образом, зная положение того или иного участка относительно канала, можно сделать определенные выводы о вероятном комплексе условий на нем. Соотношение же участка и канала легко определить по аэрофотоснимку. По нему можно измерить расстояние между двумя этими элементами аэрофотоизображения и определять их гипсометрическое положение относительно друг друга (последнее важно, так как иногда можно встретить своеобразные сбросовые участки, лежащие гипсометрически ниже каналов, принимавшие сток из них, что, естественно, вызывает заболачивание, а при орошении — засоление). В итоге оказывается, что при индикационном дешифрировании очень важно оценить пространственное соотношение участков и затем получить возможность интерпретировать полученные результаты для ландшафтной индикации, используя вероятный характер смен экологических условий. Иными словами, положение того или иного ПТК начинает фигурировать в индикационных схемах в качестве косвенного индикационного признака или вообще получает индикационное значение.

В числе индикаторов и индикационных признаков, используемых при сопутствующей индикации кроме указанных выше признаков положения и соседства появляется еще одна новая группа — агроэкологические индикаторы. Под ними мы понимаем структурные и физиономические особенности посевов и насаждений сельскохозяйственных культур и экологические свойства присутствующих в них сорных растений. Вполне очевидно, что в зависимости от почвенно-грунтовых условий, даже при весьма постоянной и устойчивой агротехнике посев может быть сомкнутым или разреженным, высоким или низкорослым, мощно развитым или угнетенным. Эти особенности оказывают определенное влияние на характер изображения местности на АФС. Так, например, при работах на Зерноградской оросительной системе в Ростовской области были хорошо заметны границы солонцовых участков в посевах проса и пшеницы по признаку крайней разреженности и угнетенности растений. Этот признак надежно распознавался на АФС и позволял вести картографирование. На тех же массивах орошения супфозионные просадки, связанные с влиянием ирригации, обнаруживались по полеганию в них посевов и массовому развитию обычного полевого выюнка. Руководствуясь этими показателями, можно было определить место просадки даже на самых ранних стадиях ее формирования. Весьма важным в индикационном отношении оказалось распределение в пределах той же оросительной системы широко распространенного сорного злака — мышья (Setaria viridis). До уборки урожай мышья был замечен очень слабо, но на сжатых полях осенью ярко-зеленые полосы его подчеркивали даже самые небольшие эрозионные борозды, позволяя тем самым подсчитать их плотность с большой точностью. Это, в свою очередь, дало возможность оценить угрозу разрушения эрозией участков на склонах.

В районах орошения в Средней Азии наблюдается сохранение на посевах экологических реликтов из представителей флоры, обитавшей на мелиорируемой площади до ее освоения. Так, в оазисах и в долинах рек на посевах хлопчатника сохраняется много реликтов тугаев (долинных лесов) и джангилей (зарослей влаголюбивого высокотравья). Некоторые из этих растений принадлежат к кустарникам и к гигантским дерновинным травам и присутствие их заметно на АФС в виде четкого крапа, рассеянного на фоне посева. При благоприятных условиях (особенно при комбинации повышенного увлажнения и засоления) эти экологические реликты обильно разрастаются и крап на таких участках соответственно сгущается. Опираясь на этот показатель можно разделить поле на некоторые элементарные экосистемы, отличающиеся фильтрационными характеристиками, гранулометрическим составом грунтов и способностью поглощать соли. Наибольшее сгущение крапа обычно характерно для тяжелых засоленных грунтов. Аэровизуальные наблюдения дают при изучении таких явлений большой эффект, поскольку с их помощью можно обнаружить присутствие кустарников из числа крайних галофитов, указываю-

щих на сильнейшее засоление (например, карабарака — *Halostachys caspica*). На АФС крап, создаваемый ими, неотличим от возникающего при произрастании других кустарников. Аэровизуальные наблюдения позволяют учесть еще один агроэкологический индикатор — интенсивность окраски посева. Как при заболачивании, так и при росте засоления орошаемых или осушаемых площадей часто наблюдается этиолирование растений, т. е. приобретение ими осветленной бледно-зеленой окраски. Эта осветленность при массовом распространении, создает цветовой эффект, хорошо видимый с самолета.

Кроме того, на площадях сопутствующей индикации при наземных наблюдениях и при дешифрировании аэрофотоснимков следует использовать антропогенные индикаторы, т. е. различные внешние особенности ПТК, созданные человеком. К ним относятся каналы, дамбы, отвалы, постройки, посевы и другие следы дефляции на переосушенных торфяниках, антропогенные солончаки при орошении, следы размыва и просадок в дорожных колеях, следы антропогенного заболачивания, засоления и т. п.

Новыми видами карт, составляемых при сопутствующей индикации, являются: карта восстановленного ландшафта, карта ориентировочной оценки интенсивности воздействия мелиоративных систем на прилежащие массивы, карта современного состояния ландшафтов под действием мелиорации и индикационная карта мелиоративных вариантов ПТК и сопряженных с ними ландшафтов. Первая карта вскрывает коренную ландшафтную структуру территории, три остальные — дают индикационную интерпретацию взаимодействию этой структуры с наложившейся на нее системой мелиоративных вариантов ПТК. При этом последняя из перечисленных карт является заменяющей по отношению к двум предыдущим картам в тех районах, где мелиоративное воздействие человека на коренную ландшафтную структуру было не очень глубоким. При интенсивной и глубокой мелиорации, изменившей естественные ПТК, составляются три первые из перечисленных карт, последняя же исключается.

Ниже приводятся сведения о назначении и способах составления отдельных карт, а образцы некоторых из них приводятся по итогам индикационной интерпретации АФС из работы Рувиллуа-Бриголь (1973 г.) для района Уарглы (Алжир).

**Карта восстановленного ландшафта.** Для того чтобы осуществить сопутствующую индикацию, необходимо (хотя бы приблизительно) восстановить коренную ландшафтную структуру освоенной территории. Отсюда возникает задача составления карты восстановленного ландшафта. Методика составления ее предполагает в первую очередь более полное выявление связей растительных сообществ с рельефом как на территории, подлежащей картографированию, так и в прилегающих аналогичных районах, с которых эти связи могут быть экстраполированы на изучаемую территорию. Таким образом, рельеф, как один из достаточно кон-

сервативных компонентов ПТК, приобретал значение наиболее важного индикатора при реконструкции исчезнувших эктоярусов. Данные, которые достигнуты путем подобной геоморфологической индикации, пополняются наблюдениями над распределением фрагментов естественной растительности, сохранившейся кое-где среди освоенных массивов. Ко всему этому присоединяются итоги анализа карт и планов прошлых лет, а также некоторая информация, получаемая за счет аэрофотоснимков. Широко используются при этом многочисленные работы местных географов, содержащие большое количество данных о взаимосвязях физиономических и деципиентных компонентов в ландшафтах. Это позволяет при составлении карт «восстановленного ландшафта» применить использование обратных индикационных связей (т. е. переход от деципиентных компонентов к физиономическим). Составление карт восстановленного ландшафта, естественно, не является необходимым для всех территорий, а только для тех, где влияние человека достаточно велико.

**Карта ориентировочной оценки интенсивности воздействия мелиоративных систем на осваиваемые массивы** (рис. 28). Рассматривая мелиорацию и ее последствия как некоторый процесс, необходимо найти какие-то специфические формы картографической передачи его. В районах широкого развития мелиорации с густой сетью каналов и интенсивным освоением площадей целесообразно составление двух разделенных карт. Одна из них отображает индикационные закономерности, помогающие познанию процессов, протекающих в очаге осушения или орошения, и носит название карты ориентировочной оценки интенсивности воздействия элементов мелиоративных систем на прилежащие массивы. Легенда ее является трехчленной. Первая ее часть имеет общий информационный характер и сообщает ряд сведений о данном массиве в целом: о геолого-геоморфологических условиях его формирования, его конфигурации, особенностях его пространственной структуры, возделываемых на массиве культурах и т. д. Вторая часть содержит перечень косвенных показателей интенсивности влияния мелиоративных систем на массив. Здесь соединены данные, которые можно получить из дешифрирования аэрофотоснимка и из наземных исследований, а также из анализа фоновых материалов. Важнейшим из индикационных признаков является удаленность массива от магистральных каналов. Выше мы уже обосновали использование пространственного положения контура в качестве индикатора. В этой карте подобные индикаторы используются очень широко. Данные о них дает крупномасштабная карта или аэрофотоснимок. Немалое значение имеют и фоновые материалы, особенно сведения о времени проведения мелиорации. Прочие индикационные признаки выявляются по аэрофотоснимкам. Суммарная оценка активности мелиорации (глазомерная, качественная) подводит итог всем этим косвенным признакам вместе взятым. Наконец, последняя часть легенды содержит перечень индикаторов. При осушении ими являются два наиболее важных антропоген-

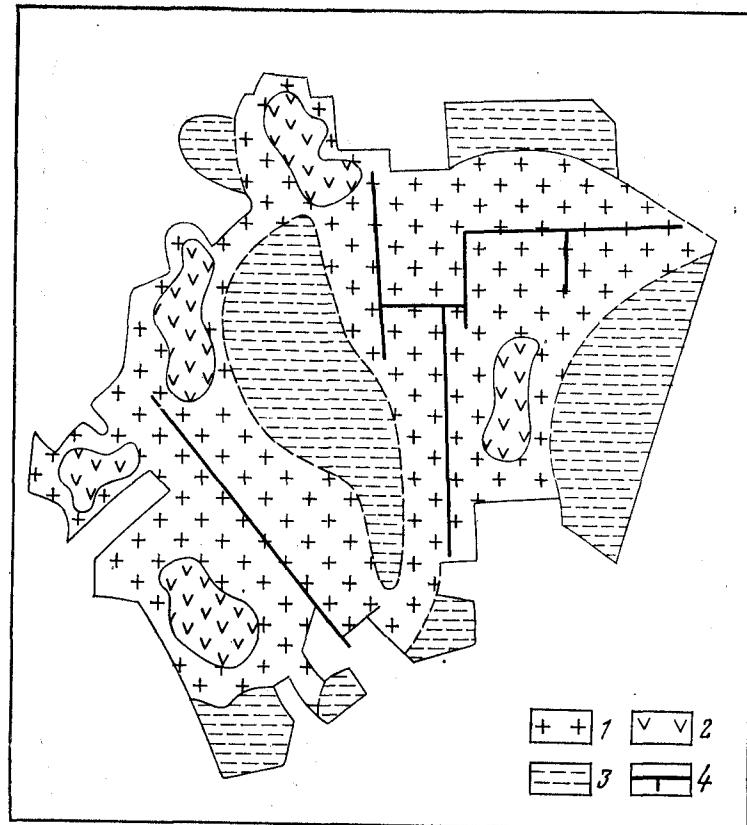


Рис. 28. Схема ориентировочной оценки интенсивности воздействия элементов мелиоративных систем на прилежащие массивы (район Уарглы, Алжир):

1 — насаждения пальм вблизи каналов — степень засоления почвы ничтожная (менее 0,2%); 2 — площади с фрагментами солончаковых — степень засоления почвы умеренная (около 0,5%); 3 — площади с солончаковой пятнистостью, удаленные от каналов, — степень засоления почвы значительная (около 1—15%); 4 — каналы

ных процесса — дефляция торфа и олугование осущенных болот, а при орошении индикатором служит засоление. Индикаторы даются в качественной оценке. В целом данная карта соединяет в себе все возможные сведения об очаге мелиорации, т. е. об осваиваемом массиве. Она отвечает на вопросы: каков очаг, какова его структура и что в нем происходит.

**Карта современного состояния ландшафтов под действием мелиорации** (рис. 29). Эта карта находится в тесной связи с предшествующей. Она отображает состояние сферы воздействия мелиорации за пределами очага, т. е. за пределами осваиваемого массива. Легенда ее слагается из нескольких разделов. Первый носит как бы вводный характер и содержит сведения о типе ПТК, в котором развивается процесс мелиорации. Второй включает известные элементы индикации, указывая на положение

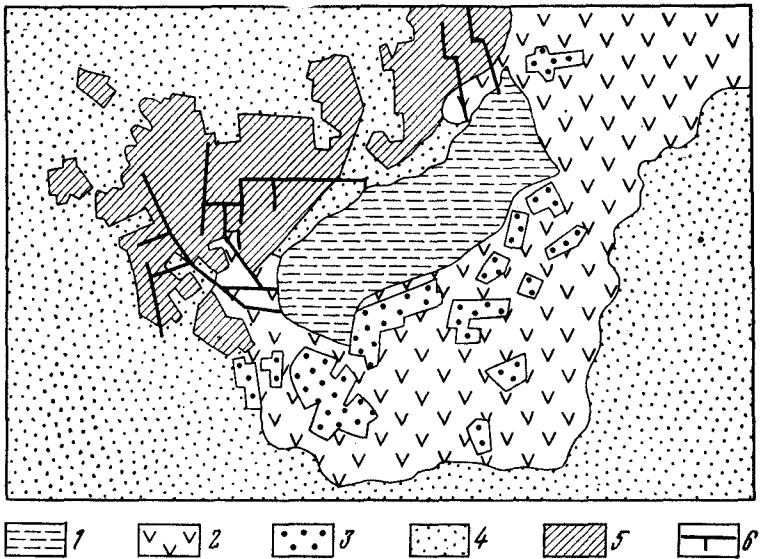


Рис. 29. Схема современного состояния ландшафтов под действием мелиорации (район Уарглы, Алжир):

1 — плоское понижение с солончаковой пустыней, расположенное на 1—2 м ниже очага орошения; признаки степени сильного засоления — корка солей в центре депрессии и кайма сочных галофитов; 2 — комплекс маломощных песков и мелких пятен солончаковых лугов, расположенный на одном уровне с очагом орошения; признак степени слабого засоления — однолетние галофиты, а среднего — фрагменты солончаковых лугов; 3 — культурные угодья с погибающими насаждениями пальм, расположенные на одном уровне с очагом орошения; признак сильного засоления — гибель пальм, солевые налеты на почве; 4 — волнистая песчаная равнина с псаммофильными сообществами на одном уровне с очагом орошения; 5 — культурные угодья с насаждениями пальм хорошей сохранности, расположенные в районе очага орошения; 6 — каналы

того или иного контура карты относительно очага в целом или в отношении отдельных каналов. Таким образом, здесь наблюдается та же индикационная интерпретация положения контура, о которой говорилось выше. Следующий раздел легенды указывает на те конкретные типы ПТК, которые подвергались непосредственным изменениям вследствие освоения. Наконец, последний раздел легенды имеет отчетливое индикационное значение. Он содержит признаки, по которым можно разделить участки на слабо измененные, умеренно преобразованные им и подвергшиеся коренным изменениям. Приводимые здесь признаки не вполне равнозначны по своей физиономичности: одни из них очень легко наблюдаются визуально, другие требуют некоторых элементарных точечных исследований. Таким образом, настоящая карта соединяет в себе сведения о последствиях мелиорации, проявляющихся за пределами очага. Она указывает на природно-территориальные комплексы, затронутые этими последствиями и позволяет определить три качественные степени изменений ландшафта в результате освоения.

**Индикационная карта мелиоративных вариантов ПТК и сопряженных с ними ландшафтов.** Два рассмотренных выше типа карт,

так же как и карта восстановленного ландшафта, рекомендуются нами к составлению для территории с очень значительной и глубокой антропогенной перестройкой, где большинство ландшафтов заменено мелиоративными вариантами. Там, где мелиоративное воздействие человека хотя и было реализовано, но не оказалось столь глубоким, где сами осваиваемые массивы относительно мельче, вкраплены в пространства естественных ПТК и не создают больших сфер влияния, следует ограничиться составлением одной карты, а именно индикационной карты мелиоративных вариантов ПТК и сопряженных с ними ландшафтов.

Карта в соответствии со своим названием имеет отчетливый индикационный характер. Она делится на три раздела в зависимости от степени нарушенности естественного растительного покрова деятельностью человека. Растительный покров принят за показатель степени нарушенности, вследствие его исключительной чуткости к экологическим сменам. От одного раздела к другому меняются лишь индикаторы и индикаты. В первом, куда сведены данные о связях, наименее нарушенных ландшафтах, индикаторы носят комплексный характер и представлены целыми экотярусами ПТК. Во втором разделе, где сконцентрированы сведения о микроландшафтах с умеренной нарушенностью растительного покрова, пользоваться ландшафтными индикаторами уже невозможно. Здесь используются частные индикаторы — геоботанические, геоморфологические и антропогенные. Наконец, в последнем разделе в качестве индикаторов выступают некоторые общие морфологические особенности массива (конфигурация, положение в рельефе и т. п.). Полнота и содержательность индикаторов от первого раздела легенды к последнему сильно сокращаются; для мало нарушенных ландшафтов оказывается возможным еще индцировать тип болота или солончака, в других разделах это невыполнимо. В последнем разделе легенды оказывается невозможной по существу и индикация каких-либо грунтовых условий. Таким образом, структура легенды к рассматриваемой карте наглядно иллюстрирует сокращение возможностей индикации в мелиоративных вариантах ландшафтов, постепенную эволюцию от использования ландшафтных индикаторов к частным и ограничение круга индикаторов. Из изложенного видно, что сопутствующая индикация, сохраняя основной индикационный принцип определения дескриптивных компонентов ландшафта по физиономическим, приобретает ряд особых черт, требующих некоторого усложнения методики исследований.

#### НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ СОПУТСТВУЮЩЕЙ ИНДИКАЦИИ

Если ландшафтно-индикационные исследования ведутся в форме сопутствующей индикации, то они, так же как и при предваряющей индикации, могут быть разделены на предварительный, камеральный, полевой и заключительный периоды. Однако со-

держение работ в эти периоды имеет некоторые отличия от предваряющей индикации.

В предварительный камеральный период производятся все работы, указанные при предваряющей индикации, но дополнительно к ним выполняются еще следующие операции: 1) копирование всех планов и карт, составленных для данной территории до проведения на ней мелиорации, и сведение всех полученных данных на общую основу с целью построения первого рабочего предварительного варианта карты восстановленного ландшафта; 2) сбор сведений о проведении мелиоративных мероприятий в районах исследований; 3) сведение всех результатов предварительного дешифрирования проявлений деятельности человека на особую сводную рабочую карту, которая в дальнейшем послужит рабочим предварительным материалом для составления карты ориентировочной оценки интенсивности воздействия мелиоративных систем на осваиваемые массивы, карты современного состояния ландшафтов под действием осушительной мелиорации и индикационной карты мелиоративных вариантов ПТК и сопряженных с ними микроландшафтов; 4) при сборе и систематизации сведений о связи физиономических и деципиентных компонентов уделяется особое внимание физиономическим компонентам антропогенного происхождения; 5) при выборе ключевых участков необходимо, чтобы они включали типичные сочетания элементов рельефа с элементами сети мелиоративных сооружений; оптимальна работа на макроключах, охватывающих значительные части мелиоративных систем, площадь макроключа — не менее одного листа карты масштаба 1 : 50 000.

В полевой период производятся все работы, указанные для предваряющей индикации. Дополнительно к ним выполняются следующие операции: а) описываются на местности и дешифрируются на аэрофотоснимках даже самые мелкие фрагменты естественных ПТК, сохранившиеся после мелиорации; б) описываются все находящиеся внутри макроключей сельскохозяйственные угодья; при этом в качестве обычных пунктов полевого описания вносятся следующие: 1) ориентировочный размер угодья, 2) его конфигурация, 3) его расположение на элементах мезо- и микрорельефа, 4) его положение относительно каналов, пересечение его каналами, расстояние до ближайшего канала, гипсометрическое соотношение с каналами, 5) изменение сомкнутости и вегетативной мощности посевов и посадок по элементам рельефа и относительно каналов, 6) наличие сорняков, обилие их, распределение их по элементам рельефа, 7) наличие признаков заболачивания или засоления; в) при выявлении индикаторов гранулометрического состава грунтов, глубины залегания грунтовых вод и прочих объектов индикации наибольшее внимание уделяется рельефу, г) с использованием полученных материалов и рабочих карт составляются полевые варианты карты восстановленного ландшафта; карты ориентировочной оценки интенсивности воздействия мелиоративных систем, карты современного состояния ландшафтov

под действием мелиорации и индикационной карты мелиоративных вариантов ПТК и сопряженных с ними микроландшафтов.

В заключительный камеральный период производятся все работы, указанные при предваряющей индикации. Дополнительно к ним выполняются следующие операции: а) при составлении окончательной ландшафтно-индикационной таблицы в качестве индикаторов используются, с одной стороны, фрагменты сохранившихся эктоярусов естественных ПТК, а с другой — элементы мезо- и микрорельефа в типичном сочетании с элементами мелиоративных систем; б) после получения результатов анализов и итогов прочих видов точечных и линейных инструментальных исследований составляются окончательные варианты всех перечисленных карт. Эти карты используются для индикации. Сводная окончательная ландшафтно-индикационная карта при этом не составляется, а контуры, имеющиеся на составленных картах, используются как основа для различных карт, предусмотренных Методическим руководством по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелиоративного строительства [30].

Из перечисленных материалов карта восстановленного ландшафта в наибольшей мере может быть использована при составлении карты гидрогеологического и инженерно-геологического районирования масштаба 1 : 50 000, причем значительную часть контуров переносят с первой карты на вторую без существенных изменений. Остальные карты могут быть использованы при составлении карты геолого-генетических комплексов пород до водопада и карты глубин залегания, минерализации и химического состава грунтовых вод.

Перспективным новым направлением в индикации процессов, протекающих на территориях, где мелиорация уже проведена, является экстраполяция на эти процессы ландшафтно-генетических рядов, возникших при естественных процессах, близких и сходных с мелиоративными [27]. Наиболее эффективна эта экстраполяция для семи антропогенных процессов, т. е. для тех, которые вызываются человеком лишь в своей начальной фазе, а далее развиваются независимо от его влияния. Для эуантропогенных процессов, регулируемых человеком от начала до конца, такая экстраполяция затруднена. Однако применительно к semiантропогенным процессам она может ускорить и упростить индикацию, так как позволяет отказаться от специальных трудоемких работ по определению новых рядов — индикаторов и использовать уже известные. Однако, методика экстраполяции находится в начальных стадиях разработки.

На территориях осушительных мелиораций ландшафтно-генетические ряды могут быть использованы в первую очередь для оценки темпа осушения. Эволюция лугово-болотных фитоценозов Белорусского Полесья под влиянием осушения приведена в работе В. И. Парфенова и Г. Я. Ким (1977 г.). В ней использована лишь геоботаническая индикация. Эта схема имеет несколько вариантов в зависимости от продолжительности осушения и от рас-

Таблица 30

**Элементы индикационных связей в классификационной схеме  
ландшафтно-мелиоративных комплексов Белорусского Полесья  
(по В. Н. Киселеву)**

Растительность	Глубина залегания грунтовых вод, м	Содержание $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ в грунтовых водах, мг-экв/л	Почвы по степени увлажнения и оглеения
Сосна, лишайники	Около 1,4	0,3—11,0	Подзолистые автоморфные
Сосна, злаки	Около 1,1	0,3—5,0	Оглеенные внизу
Сосна, злаки, разнотравье	Около 1,1	2,6—11,0	То же
Сосна, вереск	0,8	0,3—2,6	Глееватые
Сосна, широколиственные породы, злаки, разнотравье	0,8	2,6—5,0	То же
Ольха, злаки, разнотравье	0,8	2,6—11,0	„ „
Сосна, черника	0,5	0,3—2,6	Глеевые
Широколиственные породы, злаки, разнотравье	0,5	2,6—5,0	То же
Ольха, злаки, разнотравье	0,5	2,6—11,0	„
Сосна, багульник, голубика, сфагновые мхи	0,3	0,3—2,6	„
Сосна, сфагновые мхи	0	0,3—2,6	Верховые торфяно-болотные
Широколиственные породы, осоки, разнотравье	0,1	0,3—11,0	Глеевые
То же	0	0,3—2,6	Низинные торфяно-болотные
Осоки	0	2,6—11,0	То же

го районирования с использованием АФС и КФС, так как ландшафтно-мелиоративные комплексы легко распознаются на них по господству сочетаний определенных древесных пород с тем или иным лугово-болотным фоном.

положения лугово-болотного участка в той или иной зоне поймы (приречная, средняя и приматериковая зоны). В. Н. Киселев (1972 г.) применил генетические ряды растительных сообществ в качестве признака для ландшафтно-мелиоративного районирования. По его мнению, ландшафтно-генетический ряд является предпосылкой для выделения ландшафтных единиц различного таксономического ранга. На основании разработанной классификации В. Н. Киселев выделяет четыре эколого-генетических ряда. Представление о них может дать следующая таблица, составленная нами по графическим схемам (табл. 29).

Оперируя рядами как индикаторами (при учете и геоморфологических данных), В. Н. Киселев создал классификационную схему ландшафтно-мелиоративных комплексов Белорусского Полесья. Схема эта облечена в довольно сложную графическую форму. Раскрывая ее частично в отношении глубины залегания грунтовых вод, их химизма и в отношении почв по степени увлажнения, можно составить следующую таблицу (табл. 30).

Преобладание определенных ландшафтно-мелиоративных комплексов может быть использовано как способ мелиоративно-

Таблица 29

**Экологические ряды на почвах Белорусского Полесья  
(по В. Н. Киселеву)**

Структура ряда	Господствующие почвы
Сосняк лишайниковый на возвышенности: сосняк злаково-разнотравный в верхней части склона, сосняк черничный в средней и нижней части склона, сосняк багульниково-голубичный в нижней части склона — сфагновое болото в низине	Иллювиально-гумусовые подзолы под сосняками: черничными и багульниково-голубичным
Сосняк лишайниковый на возвышенности: сосняк злаковый и сосняк вересковый в верхней части склона, сосняки черничные и багульниковые в нижней части склона — ольха с осоками и мхами в низине	Подзолисто-заболоченные почвы с иллювиальным горизонтом под всеми типами леса, кроме сосняка лишайникового
Сосняк лишайниковый на возвышенности: ольха со злаками и разнотравьем по средней части склона — осоки крупные и сфагnum по нижней части склона	Дерново-заболоченные почвы с иллювиальным горизонтом под всеми типами леса и болота, кроме сосняка лишайникового
Лишайники на возвышенности: сосняки злаковые и разнотравные в средней части склона — широколиственные породы с разнотравьем в средней части склона — ольха с осоками в нижней части склона	Карбонатно-кальциевые солончаки со слоем лугового мергеля (последний — под широколиственными породами с участием лещины)

## Глава VIII

### ОСОБЕННОСТИ АЭРОЛАНДШАФТНОЙ ИНДИКАЦИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ (ПРИ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ)

#### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ БЕРЕГОВ

Эффективным методом изучения изменившихся инженерно-геологических условий, в том числе динамики процессов, вызванных созданием искусственных водохранилищ, является аэrolандшафтная индикация.

Первым опытом такого рода исследований были работы на волжских водохранилищах [23]. В дальнейшем в ходе работ на сибирских водохранилищах был разработан ряд новых методических приемов [39]. В настоящее время можно считать, что методика аэrolандшафтного изучения экзогенных геологических процессов в зонах действия водохранилищ разработана достаточно полно, тем более, что имеется опыт их внедрения на ряде производственных объектов, что принесло определенный экономический эффект. Несколько слабее разработана аэrolандшафтная индикация процессов подтопления, и в литературе освещен лишь опыт их геоботанической индикации.

Создание водохранилищ способствует разрушению берегового склона и выработке нового профиля равновесия под воздействием абразии, перемещению наносов, аккумуляции и пр. В результате переработки надводная часть берегового склона водохранилища отступает и приобретает новые очертания, а в подводной части склона формируется аккумулятивная отмель.

Морфология береговой зоны может служить индикатором при определении направленности развития берегов и процессов их переработки. Основные морфологические элементы береговой зоны отчетливо выявляются на материалах аэрофотосъемки масштабов 1 : 10 000 и 1 : 25 000.

Береговой уступ определяется тремя показателями: высотой, крутизной и профилем. Дешифрирование свежего берегового уступа облегчается хорошей его морфологической выраженностью и наличием свежеобнаженных пород белесого и светло-серого фототона, резко контрастирующих с окружающим серым фоном склонов, не затронутых абразией (рис. 30).

Для берегов, сложенных скальными и полускальными породами, характерен береговой уступ высотой более 10 м, профиль



Рис. 30. Аэрофотоизображение абразионного берега:  
1 — береговой уступ; 2 — абразионная терраса

склона обычно прямой. Крутизна склона 30—45° и более. У берегов, сложенных песчано-глинистыми породами, береговой уступ обычно менее 10 м. Профиль склона вогнутый, иногда ступенчатый, с углом наклона от 10 до 40°. У берегов, сложенных рыхлыми аллювиальными отложениями, представленными песками, суглинками, илами, береговой уступ практически отсутствует. Эти берега имеют ступенчатый профиль склона с крутизной менее 10°.

Характерным элементом береговой зоны является береговая линия. Она хорошо распознается на участках приглубных берегов в виде четкой линии, разграничающей контрастное изображение водной поверхности, имеющей темно-серый, почти черный тон изображения, и абрадируемого берега, обычно более светлого тона. На участках отмелых берегов она с трудом распознается на аэроснимках из-за отсутствия резкого контраста между аэрофотоизображением водной поверхности и берега (поскольку на мелководье просвечивает дно водоема). Конфигурация береговой линии зависит от строения склона, состава слагающих пород и процессов переработки берега. Различают прямую, угловатую, волнистую и неясно выраженную конфигурацию. Прямая, иногда угловатая конфигурация характерна для скальных и полускальных пород, представленных доломитами, песчаниками, реже мергелями и алевролитами; волнистая — для полускальных пород, представленных мергелями, глинами, алевролитами; угловатая — для связных пород (лессовидные супеси, суглинки и т. д.). Для аллювиальных отложений, представленных песками, илами и суглинками, характерна неясно выраженная конфигурация береговой линии.

Пляж хорошо дешифрируется на аэрофотоснимках. Его характер служит индикатором при выявлении направленности формирования береговой зоны. Аэрофотоизображение светлых тонов резко контрастирует как с ненарушенным берегом, так и с водной поверхностью. Пляж развивается преимущественно у берегов, сложенных связными породами — супесями, песками, суглинками, илами.

Дешифрирование подводной отмели важно для познания закономерностей развития аккумулятивных процессов не только в надводной части береговой зоны, но и в пределах прибрежного мелководья. Дешифрируется она по более светлому, чем в приглубых участках, тону аэрофотоизображения и по неясно выраженной, сильно изрезанной конфигурации береговой линии.

Все вышеперечисленные элементы береговой зоны достаточно отчетливо дешифрируются на аэрофотоснимках и могут быть использованы в качестве классификационных признаков (индикаторов) берегов, имеющих различную направленность развития и действия процессов переработки. Рассмотрим на примере берегов Братского водохранилища возможности аэроландшафтной индикации.

Выделение типов берегов по материалам аэрофотосъемки производится по набору более дробных классификационных признаков, в состав которого входят: характеристика берегового уступа (высота, крутизна), профиль склона, конфигурация береговой линии, ширина пляжа и подводной отмели.

В данном районе были выделены шесть типов берегов. Ниже приводится подробное описание каждого типа с характеристикой их дешифровочных признаков.

Абразионно-осыпной тип берега на скальных и полускальных породах (доломиты, мергели, песчаники) формируется в пределах распространения образований нижнего кембрия. Нарушение стабильности склона в результате абразии вызывает гравитационные смещения выветрелых пород (осыпные процессы). Пляж и подводная отмель отсутствуют. Профиль склона обычно имеет прямую форму. Крутизна склона составляет около  $45^{\circ}$ , высота его от 10—15 до 50 м и более. Дешифрируется этот тип берега по ровной, четкой границе береговой линии, прямой или угловатой конфигурации и отсутствию пляжа и отмели, фототон светло-серый. Структура аэрофотоизображения извилистомелкополосчатая или гомогенная (рис. 31).

Абразионно-обвальный тип берега на связных лессовидных породах формируется в основном в четвертичных отложениях, представленных лессовидными суглинками и супесями. Наряду с абразией основным процессом, формирующим берег, являются обвалы. Профиль склона чаще вогнутый, иногда вогнуто-выпуклый. Высота берегового уступа от 3 до 10 м. Крутизна склона обычно  $70$ — $80^{\circ}$  (до  $90^{\circ}$ ). Пляж и подводная отмель, как правило, отсутствуют. Дешифрируется он по четкой угловатой



Рис. 31. Аэрофотоизображение абразионно-осыпного типа берега на скальных и полускальных породах



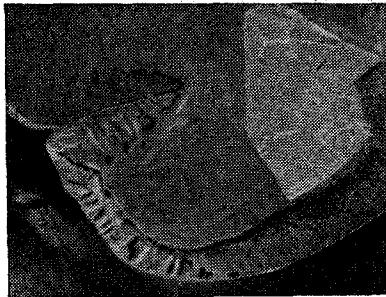
Рис. 32. Аэрофотоизображение абразионно-обвального типа берега

конфигурации береговой линии. Фототон — от светло-серого до темного. Структура аэрофотоизображения зернистая, иногда мелкопятнистая. Возрастание пятнистости связано с большей закрепленностью берега, зернистость — с обнаженностью, несформированностью растительности и наличием крупных обвальных глыб (рис. 32).

Абразионно-оползневой тип берега на скальных породах (доломиты, песчаники, мергели) приурочен к породам нижнего и верхнего кембрия, перекрытым маломощной толщей рыхлых четвертичных отложений. В результате подрезки основания склона происходит оживление давних и появление свежих оползней. Профиль склона приобретает ступенчатый вид. Высота берегового уступа обычно 5—10 м, реже до 30 м. Крутизна склона  $10$ — $30^{\circ}$ . Пляж и подводная отмель отсутствуют. Дешифрируется он по волнистой конфигурации береговой линии в сочетании с отсутствием пляжа и прибрежной отмели. Фототон изменяется от светлого у стенок срыва до темно-серого фонового. Структура аэрофотоизображения полосчатая, реже пятнистая или зернистая (рис. 33).

Потенциально-биогенный тип берега на связанных лессовидных породах включает берега относительно мелких заливов, а также берега с пологим уклоном подводной части ( $3$ — $5^{\circ}$ ). Профиль склона прямой, без существенных перегибов. В подводной части берега наблюдаются процессы аккумуляции с формированием подводной отмели. В плане такие берега имеют неясно выраженную береговую линию, что обусловлено сильной заболоченностью и большим количеством островов и полуостровов вдоль берега. Дешифрируется он по чрезвычайно сложной извилистой конфигурации береговой линии, местами с нечеткой границей от суши к воде. Появление островков округлой формы связано с зарастанием побережья гигрофитной растительностью (рис. 34).

Абразионно-карстовый тип берега на полускальных породах (гипсы, ангидриты) имеет небольшое распространение и



← Рис. 33. Аэрофотоизображение абразионно-оползневого типа берега

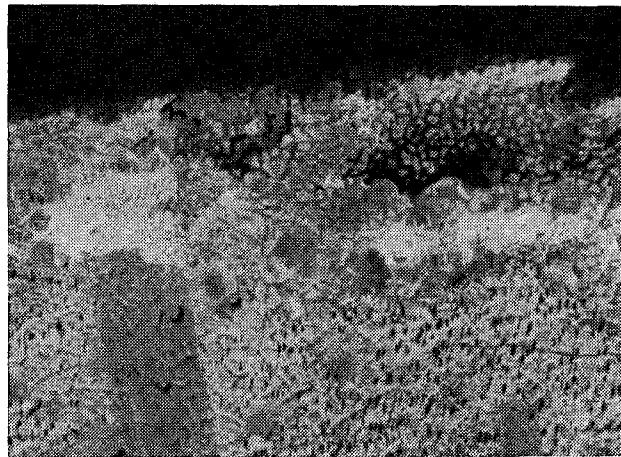


Рис. 34. Аэрофотоизображение берега потенциально-биогенного типа

приурочен к породам верхнего кембрия. Переработка берега идет здесь не только за счет механического воздействия волн, но и путем растворения сульфатных и карбонатных пород. Профиль склона ступенчатый. Высота берегового уступа 3—10 м, реже до 30 м. Крутизна склона 40—50°, иногда он отвесный. Подводная отмель и пляж отсутствуют. Разрушение карстовых берегов идет скачкообразно. Дешифрируется оно по угловатой конфигурации береговой линии, отсутствию пляжа и подводной отмели. Фототон изменяется от светло-серого до серого. Структура аэрофотоизображения мелковзернистая, характерно наличие карстовых форм рельефа в непосредственной близости от береговой линии.

Абрэзионно-аккумулятивный тип берега на полускальных и связных породах развивается в породах верхнего кембрия (мергели, глины) и в рыхлых четвертичных отложениях. Особенностью данного типа берега является то, что размываемый в результате абразии материал идет на заполнение межостровных понижений и заливов, а также на формирование подводной отмели. Характерна извилистость береговой линии. Отвесный береговой уступ подчеркивается темной полоской тени, в то время

как поверхность абразионной площадки и пляжа выглядят светлыми. Наличие отмели обуславливает постепенный переход от пляжа к темной поверхности воды.

#### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ КАРСТА И СВЯЗАННЫХ С НИМИ ПРОЦЕССОВ

При создании водохранилищ в районах, сложенных карстующимися породами, происходит активизация карстовых процессов, что вызвано подъемом уровня подземных вод. Применение аэrolандшафтного метода позволяет выявить карстовые формы рельефа и классифицировать их по генезису, возрасту, морфологии, а также установить стадии их развития и оценить закарстованность территории зоны влияния водохранилища. Помимо этого возможно установление участков развития предполагаемого погребенного карста.

Карст. Наиболее распространеными и характерными карстовыми формами являются воронки. По результатам дешифрирования аэрофотоснимков выявляются воронки различной формы. В районах распространения карбонатных, сульфатных и гипсонасыщенных пород наиболее часто встречаются воронки, различные по своей форме: колодцеобразные, конусовидные, чашеобразные и блюдцеобразные (рис. 35).

Колодцеобразные воронки характеризуются окружной формой в плане и вертикальными стенками. Обычно они располагаются поодиночке или небольшими группами. Иногда вскрывают грунтовые воды. Средняя глубина их 8—12 м, диаметр 5—15 м, отношение диаметра к глубине (коэффициент рельефности) от 2 до 5 м.

Конусообразные воронки характеризуются окружной формой в плане и трапециевидной в профиле. В сечении они чаще всего симметричные. Асимметрия может быть обусловлена различиями в скорости денудации освещенных и теневых склонов. Крутизна склонов 35—40°. Глубина воронок 6—8 м, диаметр 20—30 м.

Чашеобразные воронки характеризуются в плане большим разнообразием форм от окружной до неправильной. Сложная неправильная форма обусловлена слиянием нескольких воронок в одну и наличием развивающихся по склонам гравитационных и эрозионных процессов. Крутизна склонов от 15 до 30°. Диаметр от 30 до 40 м, глубина от 8 до 10 м. Коэффициент рельефности 8—10.

Циркообразные воронки возникают на склонах средней (11—16°) крутизны. В плане они имеют грушевидную, подковообразную и эллипсовидную форму, с резко асимметричным поперечным профилем, обусловленным отсутствием или плохой выраженностью нижней по склону стенки. Высота верхней стенки 4 м. Диаметр воронок 20—40 м. Процессы денудации иногда полностью нивелируют воронку, придавая ей форму типичного денудационного уступа.



Рис. 35. Аэрофотоизображение проявлений карстовых процессов:  
1 — свежие карстовые колодцы (провалы); 2 — конусообразные карстовые воронки с кустарником по дну; 3 — блюдцеобразные карстовые воронки; 4 — предполагаемые древние погребенные карстовые воронки

Блюдцеобразные воронки (западины) в плане имеют овальную или неправильную форму. Склоны их пологие со слабовогнутым профилем, днище широкое и плоское. Воронки такого типа имеют глубину 1—3 м и диаметр 40—50 м. Коэффициент рельефности 10—15.

Описанные формы воронок связаны единством происхождения и различаются относительным возрастом. Изучив большое количество воронок разного возраста, можно выделить ландшафтно-генетические ряды таких карстовых форм, отражающих ход их денудации, т. е. ретроспективно наметить ход изменения как морфологии, так и растительности в зависимости от геолого-геоморфологических условий.

Рвы проседания представляют собой замкнутые, линейновытянутые поперек склона отрицательные формы рельефа. Расположение таких форм, перпендикулярное к стоку поверхностных вод, исключает участие эрозии в их образовании. Приурочены подобные формы к пологим склонам и водоразделам и гравитационного смешения на них не происходит.

На аэрофотоснимках хорошо выделяются рвы проседания двух стадий развития: намечающиеся и зрелые. Намечающиеся рвы проседания, не выраженные в рельефе, обозначаются темными, довольно четкими, иногда прерывистыми спрямленными полосами. На пашне они видны благодаря большой гумусированности, увлажнению почв и лучшему их увлажнению, на нераспаханных степных участках выделяются по более мезофильной растительности. На залесенных участках рвы проседания не дешифруются.

Зрелые рвы проседания выражены в рельефе в виде едва заметных потяжин, зачастую к ним приурочены карстовые воронки. Такой ров проседания приобретает четковидные очертания. Рвы проседания могут быть связаны и с тектонической трещиноватостью. В этом случае на снимках они иногда образуют ромбическую сеть взаимно пересекающихся спрямленных полос с пятнами карстовых воронок в месте их пересечения.

Суходолы — это карстово-эрэзионные долины, заполняющиеся водой лишь в периоды обильного выпадания осадков. Вода из них отводится на глубину через многочисленные тектонические трещины. Днища суходолов часто изобилуют карстовыми воронками. Некоторые суходолы возникают в результате смыкания нескольких воронок, образовавшихся по трещинам. Последующая эрозионная деятельность временных водотоков придает им форму оврагов. Развитие суходолов в большей степени определяется не эрозионными, а глубинными коррозионными процессами.

Аэроландшафтный метод позволяет выделить три стадии развития суходолов. Первая стадия — это подземные карстовые водотоки, приуроченные к тектоническим трещинам и не выраженные в рельефе. На аэрофотоснимках, особенно на фоне свежей пашни, они видны в виде более темной, чем фототон фоновых участков, дендритовидной сети.

Вторая стадия — это цепь карстовых воронок, соединенных по ходу подземного водотока. Суходол в этом случае на аэрофотоснимке имеет четковидную, иногда извилистую форму, при этом цепь карстовых воронок вытянута по прямой или по системе прямых, соединяющихся между собой под углом.

Третья стадия развития суходолов характеризуется выраженным руслом и довольно крутыми бортами. Такие суходолы четко выделяются на аэроснимках очень тонкой извилистой линией.

#### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ ЭРОЗИОННО-ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ И ПОДТОПЛЕНИЯ

Оползни. После заполнения водохранилищ в ходе переработки берегов часто развиваются оползневые процессы, среди которых наиболее распространены оползни-блоки, оползни-оплывины и срывы.

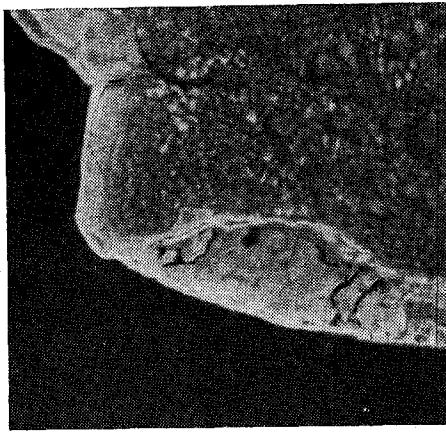


Рис. 36. Аэрофотоизображение оползня блока циркообразной формы в песчано-глинистых отложениях

сливаются друг с другом и образуют оползневые участки сложной формы. Длина оползневых участков, образовавшихся за счет слияния отдельных оползней, иногда достигает нескольких километров (рис. 36).

Свежие оползни характеризуются резкими угловатыми очертаниями в плане, фронтальной вытянутостью вдоль бровки склона, четкой выраженностю стенки срыва. Оползневые тела представляют собой серию ступеней, часто запрокинутых, разбитых трещинами, параллельными бровке стенки срыва. Для этой стадии развития оползня характерно отсутствие почвенно-растительного покрова на стенах срыва и сохранение на поверхности ступеней фрагментов растительности, характерной для ненарушенных склонов. Из-за небольшого размера оползней достаточно четко дешифрируются только оползневые склоны с групповым их развитием на значительном протяжении, преимущественно на аэрофотоснимках масштаба 1 : 10 000.

Свежие оползни отличаются четкостью аэрофотоизображения за счет контраста обнаженных стенок срыва. На освещенных склонах стенки срыва оползней выражены в виде светлых линий, на теневых — в виде четких черных линий, расположенных в несколько рядов параллельно друг другу.

Старые фронтальные оползни характеризуются также вытянутой вдоль бровки склона формой, нечетко выраженными стенками срыва и оползневыми ступенями, заросшими крупнотравьем, кустарниковой или древесной растительностью, которая на стенах срыва и оползневых ступенях мало различается. Аэрофотоизображение весьма нечетко. В этом случае необходимо дополнение дешифрирования аэровизуальными облетами и наземными наблюдениями. Оползневые склоны четко индицируются искривленными стволами деревьев и их различной направленностью

(«пьяный лес»), а также некоторым сгущением древесной растительности у тыловых швов оползневых ступеней.

Оползни-блоки циркообразной формы имеют преимущественное развитие в песчано-глинистых породах. В современном рельфе эти оползни, часто выраженные в виде выпложенных цирков, развиваются на склонах крутизной 10—35°. Оползневые тела у них либо отсутствуют, либо представляют собой выпложенные в рельфе ступени или валы. Стенки срыва выпложены. Оползневые тела расчленены оврагами. Растительность оползневых тел мало отличается от фоновой.

Оползни-оплывины и оползни-срывы широко распространены по современным береговым уступам в результате активного абразионного воздействия водохранилищ. Развиты они в основном в покровных отложениях четвертичного возраста. Глубина захвата оползней не превышает 2—3 м, размеры одиночных оползней невелики. Чаще всего они развиты группами на участках активной абразионной деятельности. В плане оползни имеют разнообразную форму (грушевидную, подковообразную, скобообразную), при групповом расположении — фестончатую. Сместившиеся массы у подножия склонов накапливаются вследствие абразионного размыва. На аэрофотоснимках масштаба 1 : 25 000 дешифрируются лишь свежие смещения; для их опознавания лучше совмещать дешифрирование аэрофотоснимков с аэровизуальными наблюдениями. Поверхность оползней на этой стадии лишена почвенного покрова. Фототон аэрофотоизображения светлый, резко контрастный с общим фоном склона; граница резкая, реже несколько размытая; структура аэрофотоизображения чаще всего гомогенная. Наиболее оптимальными для дешифрирования оползней-срывов являются аэроснимки масштаба 1 : 10 000—1 : 17 000.

Эрозионные процессы. Современная эрозионная деятельность на берегах водохранилищ проявляется в виде оврагообразования, наиболее интенсивного на площадях распространения песчано-глинистых пород.

Для оврагов выделяются две стадии развития. Свежие овраги имеют в плане извилистые или дендритовидно-разветвленные очертания, крутые склоны, V-образный профиль. Длина их, как правило, невелика. Склоны практически лишены почвенного и растительного покрова. Аэрофотоизображение свежих оврагов чрезвычайно контрастное, с резкой границей, так как освещенные склоны их выходят ярко-белыми, а теневые — темно-серыми или почти черными.

Зрелые овраги в плане несколько больше по размерам, более сильно разветвлены и имеют не столь резко изломанные контуры. В профиле эти овраги чаще всего трапециевидные. Аэрофотоизображение зрелых оврагов не столь контрастно как свежих, однако они уверенно опознаются на снимках масштабов 1 : 10 000 и 1 : 25 000. Структура их фотоизображения обычно мелкозернистая или точечная.

В районах с распространением структурно-денудационного рельефа на песчано-глинистых породах часто формируются эрозионно-оползневые цирки. Главную роль в их формировании играют оползневые процессы, возникающие в результате абразии.

Эрозионно-оползневые цирки хорошо дешифрируются по своим морфологическим особенностям, однако их относительный возраст устанавливается по геоботаническим данным. Можно выделить цирки двух стадий: молодые и «старые». Овражная эрозия в молодых цирках является действующей (развивающейся), и овраги, как правило, имеют в профиле V-образную или трапециевидную форму и лишены растительности, в «старых» цирках овраги фактически превращены в балки, густо заросшие и выпложенные. В молодых цирках растительность концентрируется лишь у подножий склонов, тогда как крутые верхние части последних совсем лишены ее. В «старых» же цирках растительность является сформированной и видна ее четкая дифференциация в зависимости от экспозиции склонов. Аэрофотоизображение молодых цирков отличается большой контрастностью, более светлым в целом фототоном, а также более густой и тонкой дендритовидной овражной сетью.

Подтопление территории. В результате подъема уровня грунтовых вод в зоне влияния водохранилища уже в первые годы его эксплуатации развиваются процессы подтопления, которые оказывают большое влияние на почвообразовательные процессы и растительный покров, что в конечном итоге приводит к развитию заболачивания территорий и вторичному засолению почвенных горизонтов.

Индикация процессов подтопления основана на выявлении взаимосвязей между особенностями почвенно-растительного покрова и рельефа береговых зон водохранилищ, с одной стороны, и характером увлажнения и засоления почвенно-грунтовых условий, с другой.

Почвенно-растительный покров является чутким реагентом на изменение увлажнения почвогрунтов, что проявляется на его видовом составе, проективном покрытии и окраске. В этой связи материалы аэрофотосъемки являются незаменимым инструментом для выявления границ распространения участков подтопления территорий, заболачивания и вторичного засоления почвогрунтов. Опыт геоботанической индикации подтопления в зоне действия равнинных водохранилищ европейской части СССР рассматривается в работе Л. А. Шевченко (1976 г.). Ею выделено пять стадий процесса подтопления (повышенное увлажнение почвогрунтов, оглеение почв, накопление органического вещества и усиление оглеения, нарастание мощности горизонта A<sub>o</sub> и заболачивание).

Индикация стадийности подтопления позволяет зафиксировать пространственное положение подтопленных участков береговой зоны водохранилищ, находящихся на различных стадиях, и осуществлять пространственно-временной прогноз.

Динамика процессов подтопления на основе геоботанической индикации рассмотрена также в работе Н. Г. Котовой (1974 г.) на примере волжских водохранилищ.

Индикаторами процессов подтопления, по мнению этих исследователей, могут быть как отдельные виды тигрофильных или галофильных растений, так и целые сообщества, которые появились в зоне влияния водохранилища после его затопления.

В настоящее время индикация процессов подтопления находится на уровне геоботанической. Возможности использования геолого-геоморфологических условий в качестве индикаторов изучены еще недостаточно полно. Протяженность зон подтопления и интенсивность его развития во многом обусловлены характером рельефа и литологического состава грунтов, поэтому о развитии подтопления можно судить лишь на основе анализа динамики современных рельефообразующих процессов.

### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ ГЕОЛОГО-ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Отчетливо дешифрирующиеся на аэроснимках формы проявления экзогенных процессов, их пространственное распределение, конфигурация и ориентировка в ряде случаев могут являться надежным индикатором геолого-литологических и структурно-тектонических условий зоны влияния водохранилища.

В районах развития карста наблюдается четкая связь между литологическим составом карстующихся пород и карстовыми формами. На территории Братского водохранилища развиты два типа карста: карбонатный и гипоангидритовый.

Для карбонатного карста характерно небольшое разнообразие поверхностных форм, представленных главным образом воронками и суходолами. Карстовые воронки являются наиболее распространенной поверхностью формой и встречаются чаще по днищам сухих падей, реже по междуречьям и их склонам. Дешифрируются они довольно легко по характерному микрорельефу и пятнистому рисунку. Размеры воронок обычно характеризуются сравнительно небольшой глубиной 2—3 м и диаметром до 20 м; форма воронок в вертикальном сечении конусовидная или блюдцевидная, а в плане округлая. На отдельных участках воронки, сливаясь, образуют вытянутые вдоль склона депрессии, которые часто переходят в рвы проседания. Одной из характернейших особенностей карбонатного карста является широкое распространение суходолов. Выделение на аэрофотоснимках сухих долин среди нормальной сети позволяет с довольно большой точностью оконтурить районы развития карбонатных пород.

Гипсовый карст характеризуется большим разнообразием форм проявления. Наряду с вышеописанными карстовыми формами здесь широко распространены колодцеобразные воронки,

карстовые овраги, полуслепые лога, карстовые источники и озера. Карстовые воронки, как и в первом случае, являются наиболее распространенной формой. Здесь наряду с мелкими воронками глубиной 2—5 м и диаметром до 20 м, которые часто образуют целые поля, широко распространены крупные воронки глубиной 10—15 м и диаметром до 100 м. Расположены воронки обычно группами, реже в одиночку. Групповые воронки часто ориентированы в направлении господствующих тектонических трещин. По характеру образования большая часть воронок относится к провальному типу. Глубина воронок в значительной степени определяется мощностью рыхлых отложений (чем больше мощность рыхлых отложений, тем воронка глубже). По левобережью р. Ангары воронки приурочены главным образом к полосе распространения эрозионно-аккумулятивных террас. Кроме того, они широко развиты по днищам сухих падей. Суходолы, являющиеся характерными формами гипсового карста, также широко распространены в районах развития гипсоносных пород.

Другой характерной формой гипсового карста являются карстовые озера. В районе Братского водохранилища они имеют ограниченное распространение и представлены двумя типами: поверхностными подвешенными озерами и озерами-источниками. Подвешенные озера образовались в результате заполнения заглубленных карстовых воронок поверхностными водами. Озера-источники сформировались в результате выхода вод вдоль трещинно-закарстованных зон. Все вышеописанные формы проявления карста достаточно хорошо дешифрируются на аэрофотоснимках и поэтому их использование в качестве индикаторов литологического состава карстующихся пород не вызывает затруднений.

Большое индикационное значение имеют формы проявления экзогенных процессов при установлении различного типа тектонических нарушений. Вдоль линий разломов, сопровождающихся сильным дроблением пород, обычно активизируется деятельность гравитационных, эрозионных и карстовых процессов. Это способствует развитию характерного линейного расположения форм их проявления. Выявление тектонических нарушений в береговых зонах представляет большой интерес, поскольку с ними связаны повышенная фильтрация подземных вод, наличие ослабленных зон, а также активизация карста и эрозионных процессов.

Важным и весьма характерным признаком для их выявления в районе исследований является прямолинейный характер эрозионных форм оврагов, суходолов, падей, русел временных водотоков и долин мелких рек. Общий план расположения линейных форм позволяет выявить региональные направления трещиноватости. Линейно вытянутые и взаимно перпендикулярные группировки карстовых форм могут указывать на наличие тектонических нарушений. При этом воронки имеют близкие формы в плане с одинаковым коэффициентом вытянутости, превышающим единицу (рис. 37).

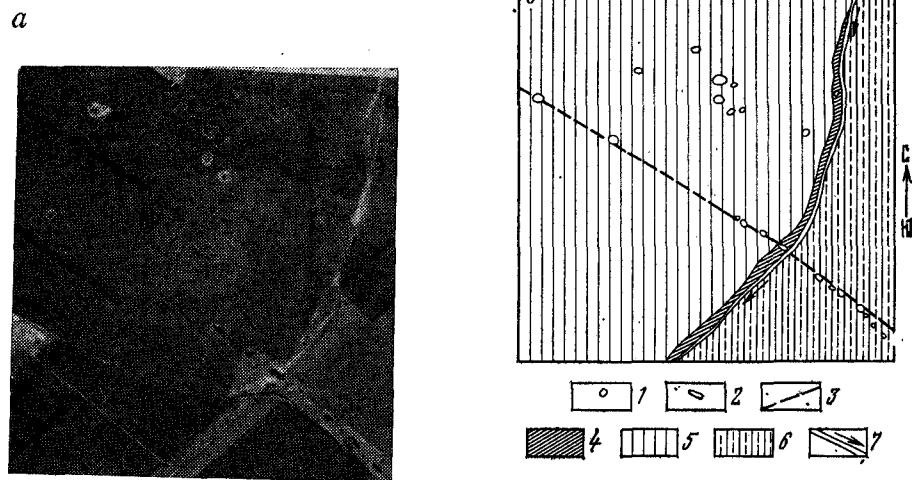


Рис. 37. Индикационное значение пространственной конфигурации карстовых форм при дешифрировании тектонических нарушений

а — аэрофотоснимок, б — дешифровочная схема:  
1 — овальная карстовая воронка; 2 — грушевидная карстовая воронка; 3 — предполагаемые тектонические нарушения; 4 — уступ террасы крутизной 11—16°; 5 — площадка второй надпойменной террасы крутизной 4—6°; 6 — площадка третьей надпойменной террасы крутизной 4—6°; 7 — долина пади

Результаты аэроландшафтной индикации в зонах влияния водохранилищ используются для специального инженерно-геологического картирования, что позволяет получать информацию, представляющую следующую основу для прогнозирования: типы и формы проявления природных процессов, развивающихся в зонах влияния водохранилищ; стадии их развития и динамика; границы распространения стратиграфо-генетических комплексов горных пород; данные о разрывных тектонических нарушениях.

## Глава IX

### АЭРОЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ СТРОИТЕЛЬСТВА

#### ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЭРОЛАНДШАФТНОЙ ИНДИКАЦИИ ПРИ СРЕДНЕМАСШТАБНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СЪЕМКАХ, ПРОИЗВОДИМЫХ В СВЯЗИ СО СТРОИТЕЛЬСТВОМ

Применение ландшафтно-индикационных методов при инженерно-геологических съемках масштаба 1:100 000—1:500 000 рекомендовано в настоящее время в соответствующем методическом руководстве [31]. Отдельные аспекты использования этих методов были рассмотрены нами в предыдущих главах применительно к съемкам, производимым для составления государственных инженерно-геологических карт. В настоящем разделе мы предлагаем охарактеризовать те особенности, которые приобретает индикация при съемках, производимых специально для проектирования сооружений.

Одной из своеобразных черт подобных работ оказывается появление специфических индикаторов (объектов индикации). При тех исследованиях, о которых говорится в настоящем разделе, индикаторами становятся уже не отдельные природные тела, а различные свойства субстрата, соотношение которых с индикаторами часто является малоизученным (способность к фильтрации, к поглощению тех или иных соединений, устойчивость против определенных механических воздействий, несущая способность и др.). Вопрос о совместной надежности индикации свойств субстрата по ландшафтно-индикационным данным пока нельзя считать решенным, и возможность таких индикационных оценок должна быть тщательно изучена для каждой группы свойств. Однако существует ряд работ, в которых достигнуты обнадеживающие результаты. Так, показана применимость эктоярусов некоторых типов уроцищ (моховых лесов, низких торфяников, бугристых торфяников, заозеренных торфяников и грядовых болот) как индикаторов мощности торфа, мощности подстилающего суглинка и их влажности.

Для болот средней полосы европейской части СССР выявлены возможности индикации несущей способности торfov, т. е. допустимой нагрузки на поверхность торфа (табл. 31).

Следует указать, что ландшафтная индикация возможна не только в солончаковых пустынях (о которых говорилось выше), но и в ряде других ландшафтов. Так, по нашим данным, она впол-

Таблица 31  
Несущая способность торфа в различных болотах

Низинные и осушенные болота, зыбуни, топи	Переходные болота	Верховые болота	Допустимая нагрузка, Па
Тростниковые Ольховые			0,25
Осоково-гипновые Луговые Ольхово-травяные Березово-сосновые	Осоково-сфагновые Сосново-пушице-во-сфагновые Гипново-сфагновые	Сфагновые с сосной Сфагновые Багульниково-сфагновые Сфагново-пушице-вые или сфагново-шнейхцериевые	0,5
Осоковые Луговые Березовые Осоково-кочкарные		Багульниково-сфагновые	0,5—0,75
Осушенные болота всех типов	—	—	0,75
Зыбуни, сплавины, топи	—	—	0,01—0,2

Примечание. Данные взяты при влажности в диапазоне от естественной до полной влагоемкости.

не осуществима на субстрате, обычно не засоленном, а именно — на торфе болот юга Западной Сибири, в Барабе. Здесь широко распространены своеобразные засоленные торфяники, которые хорошо опознаются аэровизуально по массовому развитию на них сочных галофитов, приобретающих осенью хорошо заметную пурпуровую или оранжево-красную окраску (солерос — *Salicornia herbacea*). Сочные галофиты индицируют засоление и по всем побережьям Северного и Балтийского морей.

Другая своеобразная черта рассматриваемой нами группы индикационных исследований порождается особенностями различных видов строительства, для которых производится инженерно-геологическая съемка. Наибольшей специфичностью обладает индикация для целей линейного строительства.

Опыт наших исследований при съемках, связанных с изысканием трасс линейных сооружений, позволяет указать следующие целесообразные приемы индикационных исследований при этом виде работ. Во-первых, полезно на этапе предварительных камеральных исследований расчленить каждый из изучаемых вариантов трассы на крупные отрезки, лежащие в разных классах и типах ландшафтов (в наиболее крупных ландшафтно-типологических единицах). Таковыми в первую очередь должны быть горные и равнинные отрезки. В лесной зоне в них выделяются различные обобщенные типы лесов и болот, а в аридных равнинах — неодинаковые типы пустынь. Это разделение хорошо осуществляется по мелкомасштабным обзорным ландшафтным картам. Каждый из выделенных отрезков должен в дальнейшем рассматриваться как самостоятельный объект, требующий своей особой методики исследования и использования специфических индикаторов. Второй особенностью аэrolандшафтной индикации при линейных изысканиях является целенаправленность как предварительного, так и полевого дешифрирования, выражаясь в фиксации внимания исследователя на участках, которые, будучи небольшими по своей протяженности, представляют наибольшие трудности для строительства. Эти участки в дальнейшем мы будем называть «узкими препятствиями». Значение их легко показать на примере изысканий на болотах. Комплексность болотных массивов может достигать высоких степеней. Наиболее благоприятными по условиям движения элементами комплексов здесь будут крупные гряды, наименее — мочажины. Кроме этих основных элементов здесь могут присутствовать и вторичные полузаросшие озера. Наряду с отрицательными показателями обнаруживаются элементы и с положительными условиями — это крупные минеральные «острова» с фрагментами леса, участки с повышенной пнистостью и уплотненностью торфа и т. д. Суммарная характеристика такого болотного ландшафта в конечном итоге складывается из характера соотношения чередования гряд и мочажин, от их размеров, частоты появления озер и минеральных островов и т. д. Одним из самых сложных по условиям движения элементов болотных массивов является лагг, т. е. обводненная окраина болота. Лагг наиболее резко выражен у выпуклых верховых болот, где происходит интенсивное стекание болотных вод к периферии массива. Граница лагга хорошо отбивается на аэрофотоснимках, а также на местности по характерному появлению типичных растительных сообществ (группировки кустарников, белокрыльник, пушица и т. д.).

На одном и том же болоте мы можем иметь многократное чередование элементов лагга разных типов, с различной обводненностью.

Эта неоднородность структуры болот крайне осложняет оценку инженерно-геологических условий. Наиболее простым, но далеко неточным способом ориентировочной оценки их на определенном маршруте является просмотр расположенных вдоль него

аэрофотоснимков. Однако этим путем можно получить лишь общие, весьма приблизительные представления о характере намеченной трассы.

Оптимальным способом уточненной оценки инженерно-геологических условий по конкретным маршрутам является построение вдоль них специальных графиков. В основу их положены графики встречаемости, примененные Ч. Доббсом (1939 г.) при геоботанических работах на Шпицбергене. В эти графики С. В. Викторовым [9] были внесены известные изменения, выразившиеся в замене встречаемости на плотность (число экземпляров на единицу площади). Для построения графика на аэрофотоснимке вдоль исследуемой трассы прокладывается трансsectная полоса определенной ширины, которая затем делится на равновеликие участки. На этих площадях производится подсчет узких препятствий. Этот подсчет целесообразно вести с разбивкой препятствий на группы по степени легкости их преодоления. К. А. Шевченко использовала эту методику для определения условий движения транспорта по болотам без дорог. Ею были выделены пять групп болотных микроландшафтов, различающихся по условиям движения в зависимости от обилия узких препятствий.

Третьей чертой применения индикации является большая эффективность повторного дополнительного дешифрирования по мере продвижения исследований вдоль изучаемой трассы. Отработав какую-то часть определенного отрезка трассы и проверив таким образом часть индикаторов, целесообразно повторить предварительное дешифрирование для остальной, еще не изученной части трассы, лежащей в пределах того же класса и типа ландшафта. Практика исследований, проведенных нами в Восточной Сибири, показывает, что каждое такое повторное дешифрирование оказывается более точным. В табл. 32 указано, насколько

Таблица 32  
Эффективность повторного дешифрирования  
при линейных изысканиях

Элементы комплекса инженерно-геологических условий	Распознавание элементов комплекса, %	
	после предварительного дешифрирования первой группы ключевых участков	после дополнительного дешифрирования последующих групп участков
Эзогенные процессы	45	79
Генетические типы рыхлых четвертичных отложений	95	95
Литологические разности рыхлых четвертичных отложений	50	80
Выходы грунтовых вод	10	30
Физико-механические особенности грунтов	—	15—20
Структурно-тектонические элементы геологического строения	95	95

ко велико приращение достоверного индикационного дешифрирования за счет его повторения после изучения первых ключевых участков. Величины достоверного дешифрирования даны в процентах от общей аналогичной инженерно-геологической информации, вошедшей в окончательную карту.

Как видно из табл. 32, приращение информации за счет дополнительного дешифрирования неодинаково для разных элементов инженерно-геологических условий. Этим отчасти определяется целесообразность использования данного приема. Он наиболее эффективен для оценки литологических и физико-механических особенностей, а также для выявления физико-геологических процессов. Применение его нецелесообразно для познания прочих объектов индикации.

#### ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЭРОЛАНДШАФТНОЙ ИНДИКАЦИИ ПРИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ В СВЯЗИ СО СТРОИТЕЛЬСТВОМ

В настоящем разделе приведены данные лишь о тех особенностях использования аэrolандшафтной индикации, которые наблюдаются при наиболее крупномасштабных работах, связанных с разными видами строительства. Это — планировка промышленных районов и узлов, исследования на стадии проектного задания и на стадии рабочего проектирования, некоторые специальные виды исследований (изыскания дорожных трасс, трасс нефтегазопроводов и т. п.). Несмотря на то что применение аэрометодов в этих случаях несколько осложнено, специалисты в области инженерно-геологических исследований при градостроительстве расценивают его положительно.

Общей чертой индикации при всех перечисленных выше видах инженерно-геологических исследований является необходимость очень дробного расчленения ландшафтной структуры. Исследователь должен сосредоточить свое внимание на единицах совершенного иного порядка, т. е. на тех, совокупность которых образует микроструктуру ПТК, обычно не находящую отражения на АФС наиболее распространенных средних масштабов или изображаемую ими очень нечетко. Обязательным является выделение при этом фаций. При значительной выровненности рельефа растительное сообщество становится основным физиономическим признаком, по которому могут быть разграничены фации в полевых условиях. Однако при наиболее крупномасштабных индикационных исследованиях появляется необходимость еще более дробного расчленения структуры ландшафта с подразделением фаций на составляющие их микрофации. По представлениям, развивающимся Н. Г. Москаленко (1969 г.), которая ввела это понятие в индикационное ландшафтovedение, микрофация — это наноформа рельефа (или часть микроформы), занятая микрогруппировкой растений, а иногда зарослью какого-либо одного вида. Необходимость выделения микрофаций подчеркивается многими иссле-

дователями. При изыскании трасс дорог в труднодоступных низкогорных районах Сибири и Дальнего Востока использование среднемасштабных АФС, на которых многие микрофации (а отчасти и фации) были видны нечетко или пропускались при предварительном дешифрировании, привело к значительному снижению его достоверности. Так, например, благодаря пропускам элементов, представлявших реликты солифлюкционных форм (подчеркиваемые растительностью), в итоге предварительного дешифрирования было выявлено только 60% всех участков, затронутых солифлюксацией. После того, как на первом этапе полевых исследований были выявлены признаки их дешифрирования, количество упомянутых участков возросло до 85% (проценты приводятся от общего числа участков, выявленных аэрометодами и наземными работами, указанного на окончательной инженерно-геологической карте). В ряде случаев большое индикационное значение приобретает частота встреч (встречаемость) какого-либо типа микрофаций. Мы неоднократно упоминали о мельчайшей бугристости некоторых типов солончаковых пустынь, которая формируется около кустиков солевыносливого полукустарника — сарсазана. При инженерно-геологических исследованиях в связи с изысканием трасс движения транспорта на бугристых солончаках, сгущение фитогенных бугорков и повышение их встречаемости может быть использовано как признак при выделении наиболее обсохших частей солончака, способных образовывать четкую, незаплывающую колею. При изысканиях для выбора строительной площадки Т. Ф. Усольцева (1979 г.) последовательно расчленила территорию работ на типы местности, далее на уроцища, а внутри них произвела весьма дробное расчленение (не уточняя таксономию единиц) на мелкие элементарные ПТК. Так, например, в уроцище низкой поймы р. Каменки (левого притока Оби) с микрокомплексом остеиненных и гигрофильно-кустарниковых сообществ она выделяет: а) элементарный ПТК с господством в эктоярусе полыни, характеризующий участки, где в разрезе преобладают суглинки; б) ПТК с господством в эктоярусе пятен полынного ивняка, типичного для площадей с преобладанием песков, при близком залегании пресных грунтовых вод; в) полосу ивняка (отличающуюся от других аналогичных участков своей линейной ориентированностью), обозначающую бровку поймы; г) ПТК в тыловом шве поймы с переувлажненными полу затопленными ивняками. В уроцище низкой галечниковой поймы, лишенной растительности, она выделяет микроучастки с накоплением суглинистого заполнителя в галечниках по появлению мелких пятен сообщества полыни и ивы. Приведенные примеры показывают, что в условиях самых разных природных зон от криолитозоны до пустынь исследования, производимые в связи со строительством, заставляют анализировать ландшафтную структуру очень детально. В большинстве случаев фации и тем более микрофации на среднемасштабных АФС изображаются (вследствие своих мелких размеров) в виде крапа. Поэтому при опи-

сываемых нами исследованиях большое значение приобретает анализ крапа, позволяющий дать объективную оценку его густоты, а также определить, является ли крап вполне беспорядочным, распределенным случайно или обладает определенной ассоциированностью или ориентированностью, отражающей неоднородность условий на исследуемом участке. Простейшим способом анализа крапа является определение его плотности, т. е. количества точечных элементов на единицу площади. Подсчет производится непосредственно на АФС на площадках единого размера, рассеянных по изучаемому контуру. Этим способом можно, однако, лишь подметить неравномерность плотности крапа. Обычно же оказывается желательным провести границы, разделяющие участки с разной плотностью. Для этого строят графики. На АФС выбирают несколько полос определенной ширины, делят их на равновеликие отрезки и в каждом из них подсчитывают число точечных элементов. Далее для каждой из полос строят кривую, где по оси абсцисс откладывается расстояние от начала полосы, а по оси ординат — число элементов крапа в данном отрезке. Так, выявляют положение мест, где плотность крапа резко меняется. Сопоставляя результаты, полученные на разных полосах, можно наметить границы разных плотностей.

Другим простым, но эффективным методом анализа крапа является построение кривых распределения его элементов по способу, описанному нами выше, применительно к анализу аэрофотоизображения черносаксаульников в супесчано-суглинистых пустынях древних аллювиально-дельтовых равнин. Этим способом\* можно получить ряд кривых, характер которых позволяет разделить площадь, занимаемую определенным крапом, на участки, различающиеся по густоте. Последняя же, как было показано выше, может иметь большое индикационное значение. В некоторых случаях представляет интерес выявление каких-либо линий или полос, к которым тяготеют элементы крапа. Так, например, при дорожных изысканиях на болотах может явиться необходимость проследить пути движения воды в торфе (линии стекания) по цепочкам избыточно обводненных микропонижений (мочажин). В ряде случаев линейная сопряженность групп мочажин заметна непосредственно, но часто она является спорной. Тогда целесообразно обратиться к вычислению коэффициента дисперсии, с помощью которого ассоциированность точечных элементов может быть выявлена с необходимой достоверностью.

\* Задумано из индикационной геоботанической схемы, где он именуется способом Дохман-Востоковой.

## Глава X

### ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ВИДОВ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

---

#### КОСМОФОТОСЪЕМКА

В последние годы наряду с совершенствованием существующих видов аэросъемок разрабатываются новые виды дистанционных исследований. Большое значение среди них для инженерной геологии имеют космофотосъемка, радиолокационная [РЛ] и инфракрасная [ИК] съемки.

Отличием космической съемки от традиционной аэросъемки является способность получения мелкомасштабных изображений повышенной обзорности с естественной генерализацией изучаемых объектов, что позволяет проследить крупные природные объекты. Это относится прежде всего к изучению крупных структурных элементов земной коры, формаций горных пород, мега- и макрорельефа, морфоструктуры исследуемых территорий. Генерализация изображений на космоснимках часто позволяет получить принципиально новую информацию о глубинном строении Земли, новейших структурах и ландшафтах. Поэтому космическая съемка используется главным образом при проведении региональных мелко- и среднемасштабных исследований.

Использование материалов космофотосъемки повышает достоверность региональных исследований за счет более объективной оценки роли структурно-геологических факторов в формировании инженерно-геологической обстановки. Эта особенность космофотоматериалов позволяет применять их для решения вопросов инженерно-геологического картирования и районирования, а также при региональном изучении экзогенных процессов.

Дешифрирование космофотоснимков методически имеет много общего с дешифрированием материалов аэрофотосъемки. И в том и другом случае оно осуществляется на ландшафтно-индикационной основе и опирается на индикационный анализ оптических моделей ландшафта.

Под оптической моделью ландшафта понимается его фотоизображение, обладающее определенным сочетанием признаков. Структура оптической модели ландшафта определяется целым рядом параметров, среди которых наиболее важную роль играет высота фотографирования. Она определяет генерализацию фотоизображения. Большинство исследователей в настоящее время

выделяют пять уровней генерализации: глобальный, континентальный, региональный и детальный.

В зависимости от уровня генерализации объектами дешифрирования являются в различной степени интегрированные ПТК. Физиономические компоненты их формируют оптическую модель ландшафта, условно называемую нами фотоэктоярусом. Но при этом необходимо различать фотоэктоярусы и эктоярусы ландшафтов в обычном понимании, предложенном С. В. Викторовым [9]. Фотоэктоярусы объединяют в себе видимые на аэро- и космфотоснимках компоненты, которые при рассмотрении оригинальных ландшафтов могут быть деципентными. Таким образом, при дешифрировании аэрокосмических материалов мы имеем дело с трансформированными моделями ландшафтов, формирование которых обусловлено особенностями фотосъемочного процесса.

Рассмотрим особенности космической индикации инженерно-геологических условий на различных уровнях генерализации фотоизображений. Космфотоснимки глобального уровня объединяют материалы масштабов 1 : 100 000 000. Для инженерной геологии использование материалов этого уровня малопрекрасивно.

На континентальном уровне генерализации космфотоснимков (охватывающем диапазон масштабов 1 : 10 000 000—1 : 15 000 000) оптическую модель ландшафта формируют крупные черты эндоморфогенеза, имеющие региональное значение. Наиболее отчетливо дешифрируются блоковые морфоструктуры благодаря их прямолинейным очертаниям. Фотоэктоярусы оптических моделей ландшафта формируют эндоморфогенные особенности природно-территориальных комплексов. Они имеют определенное индикационное значение при региональных инженерно-геологических обобщениях и, прежде всего, при районировании.

Определенное индикационное значение имеют и выявляемые при дешифрировании континентальных снимков региональные разломы, как индикаторы зон разуплотнения горных пород.

Выделяя эндоморфогенные особенности ПТК, мы рассматриваем их в качестве нового типа индикаторов. Дешифрируя морфоструктурный план Земли, в формировании которого ведущую роль играла морфотектоника, мы используем эндоморфогенные особенности ПТК в качестве индикаторов групп инженерно-геологических формаций горных пород, отдельных формаций и зон регионального разуплотнения горных пород.

Региональный уровень генерализации объединяет диапазон масштабов 1 : 1 500 000—1 : 3 500 000. Модель ландшафта на данном уровне формируют особенности экзоэндоморфогенеза ПТК, под которым мы понимаем макро- и мезоформы рельефа и их комплексы, возникшие в результате воздействия экзогенных процессов во взаимодействии с тектоникой. В таком аспекте морфоскульптура рассматривается не как рельефообразующий фактор, а во взаимосвязи с эндоморфогенезом, что имеет индикационное значение в инженерной геологии. Объектами индикации на дан-

ном уровне являются элементы структурно-тектонической обстановки, пространственное положение и генезис формаций и стратиграфо-генетических комплексов горных пород, парагенетические комплексы экзогенных процессов.

На локальном уровне генерализации материалов космфотосъемки, для которых характерны масштабы крупнее 1 : 1 000 000, модель ландшафта формируют экзоморфобиогенные особенности ПТК, соответствующие эктоярусам сложных урошищ и типов местности. Физиономическими компонентами ландшафта в данном случае являются морфогенетические типы рельефа и формации растительных сообществ. В качестве объектов индикации на данном уровне выступают локальные структурно-тектонические условия, стратиграфо-генетические комплексы пород (границы распространения и литологический состав), глубина залегания грунтовых вод, проявления экзогенных процессов и степень их активности.

Космфотоснимки локального уровня генерализации применимы при средне- и мелкомасштабном картировании и районировании и региональном изучении экзогенных процессов. Большую роль они играют при инженерно-геологической оценке разрывной тектоники, в частности позволяют выявлять ее роль в формировании подземных вод, пространственном положении горных пород и изменчивости их свойств.

Детальный уровень генерализации охватывает главным образом аэрофотоснимки среднего масштаба. Модель ландшафта формируют биоэкзоморфогенные особенности ПТК. В качестве физиономичных компонентов ландшафта выступают фитоценозы и особенности мезо- и микрорельефа, возникшие в процессе эндоморфогенеза. Основным объектом индикации здесь являются литологический состав пород зоны аэрации, оценка их засоленности, обводненности, глубина и минерализация грунтовых вод, а также выявление преобладающих экзогенных процессов стадий их развития и степени активности. Опыт использования снимков детального уровня генерализации в инженерной геологии многообразен.

Одной из ближайших задач региональной инженерной геологии может явиться разработка методики составления инженерно-геологических космфотокарт разных масштабов и назначения в связи с необходимостью претворения в жизнь генеральных проектов по преобразованию природной среды. Космфотоинженерно-геологическое картирование заключается в составлении инженерно-геологических карт на основе анализа материалов космфотосъемки камеральным путем или с минимальным объемом наземных проверочных работ. Отличие таких карт от традиционных заключается в том, что в основе их лежит информация, получение которой с помощью обычных методов затруднено.

По объему информации космфотокарты уступают традиционным. Поэтому их необходимо рассматривать не в качестве замен-

няющих кондиционные региональные материалы, а как вспомогательный вид картирования.

Опыт составления инженерно-геологических космфотокарт показывает, что их необходимо классифицировать по масштабу, назначению, методам построения и уровням генерализации используемых космфотоснимков.

Общие инженерно-геологические космфотокарты являются обзорными и составляются в масштабах мельче 1 : 1 000 000. Их назначением служит выявление закономерностей формирования инженерно-геологических условий, определяемых структурно-текtonическими и формационными особенностями крупных регионов, находящих отражение на космфотоснимках. По содержанию космфотокарты представляют собой карты инженерно-геологического районирования. Анализ космических снимков позволяет также уточнить границы крупных таксономических единиц районирования, обусловленных дизъюнктивной тектоникой.

Составление обзорных космфотокарт осуществляется камеральным путем на основе дешифрирования космических снимков континентального и регионального уровней генерализации.

Обзорные инженерно-геологические карты могут найти применение при проработке научных вопросов по региональной оценке больших территорий, а также при решении практических задач, связанных с технико-экономическим обоснованием крупных проектов. В качестве примера на рис. 38 и 39 приводится фрагмент обзорной инженерно-геологической космфотокарты западной части Туранской плиты и схемы инженерно-геологического районирования. Дешифрирование в данном случае позволило выявить пространственные особенности распространения основных инженерно-геологических формаций горных пород и роль дизъюнктивной тектоники в развитии ряда экзогенных геологических процессов. Эти материалы были использованы для определения наиболее перспективных районов с целью проведения на них среднемасштабных исследований по изучению экзогенных геологических процессов.

Специальные инженерно-геологические космфотокарты составляются в масштабах крупнее 1 : 1 000 000. Их основное назначение — решение частных задач по оценке параметров инженерно-геологической обстановки.

По содержанию такие карты представляют собой картографическое выражение результатов дешифрирования какого-либо одного или группы параметров, например обводненности разрывных нарушений, литологического состава и мощности пород зоны аэрации, распространения и активности экзогенных геологических процессов и т. п. При составлении специальных космфотокарт используются снимки регионального, локального и детального уровней генерации. Данные об инженерно-геологической интерпретации элементов складчатой и разрывной тектоники, параметры горных пород и экзогенных геологических процессов составляют основную информацию, лежащую в основе нагрузки специ-

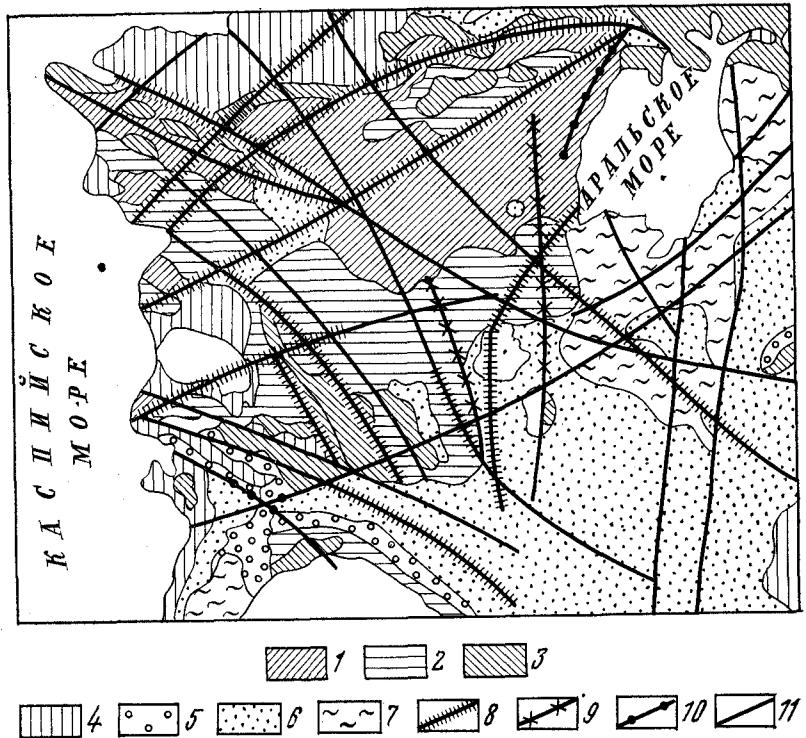


Рис. 38. Фрагмент обзорной инженерно-геологической космфотокарты западной части Туранской плиты

1—7 — инженерно-геологические формации горных пород: 1 — карбонатная верхнего миоцена — нижнего плиоцена (морские ракушечники, известняки, мел, мергели), 2 — терригенная нижнего мела — нижнего плиоцена (глинистые, песчано-глинистые и обломочные породы), 3 — терригенно-карбонатная нижнего мела — нижнего плиоцена (глинистые и обломочные породы), 4 — морских трангрессий Арало-Каспия, хазарских, хвальинских и новокаспийских отложений (песчано-глинистые и засоленные породы — соль, гипс, засоленные глины), 5 — предгорных равнин и межгорных впадин верхнеплиоценового—современного возраста (песчаные и крупнообломочные породы), 6 — речных долин четвертичного возраста (песчаные и песчано-глинистые отложения), 7 — пустынь и полупустынь плиоцен-четвертичного возраста (песчаные и песчано-глинистые отложения); 8—11 — инженерно-геологическая интерпретация региональных разломов: 8 — зоны трещиноватости над региональными разломами фундамента, способствующие интенсивному засолению пород, 9 — зоны разуплотнения пород над поднимающимися в новейшее время блоками, способствующими интенсивному развитию карста, 10 — зоны трещиноватости, способствующие локальной деформации склонов и разрушению горных пород, 11 — разломы, инженерно-геологическое значение которых не установлено

альных космфотокарт. Методика составления их базируется на камеральном дешифрировании материалов космфотосъемки и полевых исследований. Причем дешифрирование осуществляется в два этапа: перед проведением полевых работ и после их окончания. В качестве примера на рис. 40 приводится фрагмент космфотокарты инженерно-геологических условий Северо-Западного Устюрта.

По объему и детальности она несколько уступает карте, составленной в процессе государственной инженерно-геологической

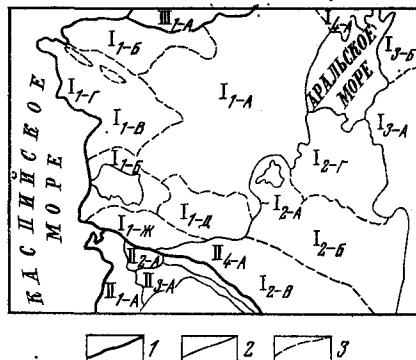


Рис. 39. Фрагмент схемы инженерно-геологического районирования западной части Туранской плиты. Составлена на основе дешифрирования телевизионного космического снимка «Метеор-25».

I — границы регионов первого порядка:  
I — Туранская плита, II — горноскладчатые сооружения Копет-Дага, III — Русская платформа;

2 — границы регионов второго порядка: I<sub>1</sub> — Мангышлак-Устюртский, I<sub>2</sub> — Амударинский, I<sub>3</sub> — Сырдаринский, I<sub>4</sub> — Тургайский, I<sub>5</sub> — Центральнокызылкумский, I<sub>6</sub> — Западно-Туркменский, I<sub>7</sub> — Большебалханский, I<sub>8</sub> — Копет-Дагский, I<sub>9</sub> — Предкопетдагский, I<sub>10</sub> — Прикаспийский; 3 — границы областей: I<sub>1-A</sub> — плато Устюрт, I<sub>1-B</sub> — аккумулятивные морские равнины Каспия, I<sub>1-C</sub> — плато Мангышлака, I<sub>1-D</sub> — горные возвышенности мангышлака, I<sub>1-E</sub> — горные возвышенности Туаркыра, I<sub>1-F</sub> — Красноводское плато, I<sub>2-A</sub> — Сарыкалыцкая впадина, I<sub>2-B</sub> — Низменные Каракумы, I<sub>2-C</sub> — Центральные и Юго-Восточные Каракумы, I<sub>2-D</sub> — долина Амударии, I<sub>3-A</sub> — Кызылкумская равнина, I<sub>3-B</sub> — долина Сырдарии, I<sub>4-A</sub> — Северо-Приаральская низменность, I<sub>5-A</sub> — аккумулятивные равнины Прикаспия, I<sub>6-A</sub> — горные хребты Большого Балхана, I<sub>7-A</sub> — горные хребты Копет-Дага, I<sub>8-A</sub> — крутонаклонные пологоволнистые равнины Копет-Дагского хребта, I<sub>9-A</sub> — аккумулятивные равнины Каспия

лака, I<sub>1-D</sub> — горные возвышенности Туаркыра, I<sub>1-F</sub> — Красноводское плато, I<sub>2-A</sub> — Сарыкалыцкая впадина, I<sub>2-B</sub> — Низменные Каракумы, I<sub>2-C</sub> — Центральные и Юго-Восточные Каракумы, I<sub>2-D</sub> — долина Амударии, I<sub>3-A</sub> — Кызылкумская равнина, I<sub>3-B</sub> — долина Сырдарии, I<sub>4-A</sub> — Северо-Приаральская низменность, I<sub>5-A</sub> — аккумулятивные равнины Прикаспия, I<sub>6-A</sub> — горные хребты Большого Балхана, I<sub>7-A</sub> — горные хребты Копет-Дага, I<sub>8-A</sub> — крутонаклонные пологоволнистые равнины Копет-Дагского хребта, I<sub>9-A</sub> — аккумулятивные равнины Каспия

съемки, однако, содержит новую информацию о влиянии дислокационной тектоники на интенсификацию процессов засоления грунтов.

Пути практического использования специальных инженерно-геологических космофотокарт многообразны. В частности, космофотоинженерно-геологическое картирование перспективно проводить на площадях, ранее не заснятых, с несложными инженерно-геологическими условиями для получения (при минимальных затратах) карт с отображением на них инженерно-геологических условий преимущественно покровных отложений.

### РАДИОЛОКАЦИОННАЯ СЪЕМКА

В настоящее время для радиолокационной съемки используются бортовые радиолокационные станции бокового обзора — РЛСБО, где обзор местности осуществляется методом сканирования за счет движения самолета-носителя.

Радиолокационная станция облучает земную поверхность в пределах узкой полосы по обеим сторонам от линии полета. При этом полоса местности, расположенная непосредственно под самолетом, исключается как «мертвая зона». Отраженные радиосигналы принимаются антенной и фиксируются электронно-лучевой трубкой. Разворотка изображения осуществляется за счет движения самолета. Это изображение фотографируется на движущуюся пленку.

В СССР для РЛ-съемки используется радиолокационная аппаратура бокового обзора «Торос». Станция устанавливается на самолете АН-24. Система использует сантиметровый диапазон электромагнитных колебаний. Изображение местности на пленке

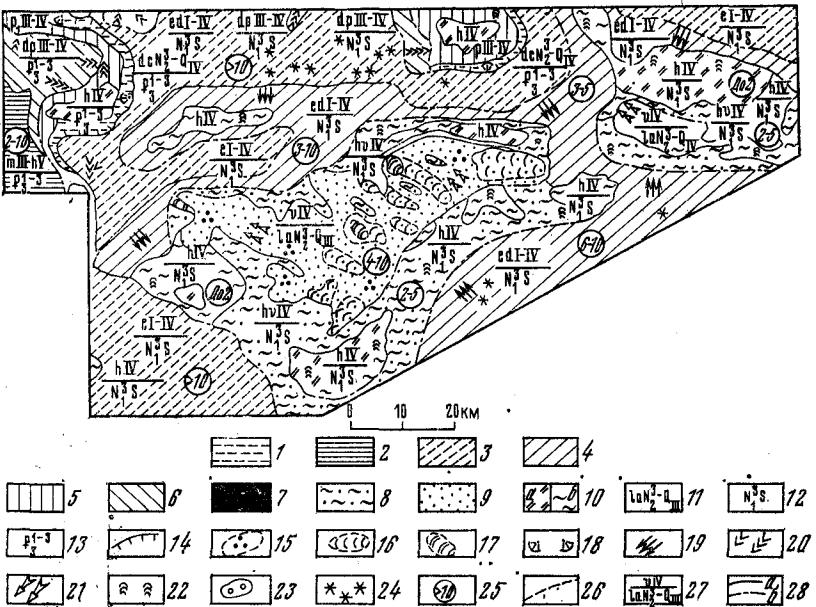


Рис. 40. Схематическая карта инженерно-геологических условий Северо-Западного Устюрта (составлена по материалам дешифрирования космофотоснимков). Генетические типы и возраст отложений: 1 — делювиально-коллювиальные плиоцен-четвертичные известняки, мергели с суглинистым и супесчаным заполнителем мощностью до 30 м; 2 — морские хвильевые тонкозернистые пески, глины, мощностью до 16 м; 3 — элювиальные четвертичные суглинки, глины с включением щебня и дресвы, известняки мощностью 0,5—1 м; 4 — элювиально-делювиальные четвертичные суглинки и глины с включением щебня, дресвы, известняка и мергеля мощностью до 5 м; 5 — проловиальные верхне-четвертичные и современные супеси, суглинки, пески с глинистыми прослоями мощностью 5—10 м; 6 — делювиально-проловиальные верхнечетвертичные и современные супеси, суглинки, пески мощностью 2—4 м; 7 — проловиальные современные суглинки с включением дресвы, щебня, известняка и мергеля мощностью до 2 м; 8 — хемогенно-эоловые современные суглинки, пески с включением дресвы, известняка и мергеля в основании мощностью до 10 м; 9 — эоловые современные пески мощностью до 10—12 м; 10 — хемогенные современные солончаки (а — соровые, б — пуховые), супеси, глинистые пылеватые пески и суглинки мощностью до 3—5 м.

Подстилающие комплексы: 11 — озерно-аллювиальные плиоцен-четвертичные пески мощностью 15—17 м; 12 — морские миоценовые сарматские мергели голубовато-серые, плитчатые с прослоями карбонатных глин; известники олиговитые, дегритусовые, мелкокристаллические мощностью 40—60 м; 13 — морские олигоценовые глины карбонатные, слоистые мощностью 5—50 м.

Геоморфологические элементы: 14 — уступы крутые; 15 — бугристо-ячеистые пески; 16 — грядовые пески; 17 — барханные пески.

Современные экзогенные процессы: 18 — гравитационные склоновые процессы (осыпи, обвалы, оползни); 19 — линейная эрозия; 20 — интенсивное оврагообразование; 21 — разведение; 22 — засоление; 23 — карстово-суффозионные процессы; 24 — такyroобразование.

Подземные воды: 25 — глубина залегания подземных вод, м.  
Прочие обозначения: 26 — зоны повышенной трещиноватости вдоль предполагаемых разломов; 27 — индексы геологических комплексов: числитель — перекрывающих, знаменатель — подстилающих; 28 — границы геолого-генетических комплексов отложений, дешифрируются: а — уверенно, б — неуверенно

строится в электронно-фоторегистрирующем устройстве — ЭФРУ.

Средняя величина разрешающей способности по дальности для системы «Торос» составляет первые десятки метров. Разрешающая способность по азимуту составляет примерно такую же величину, как и по горизонтальной дальности.

Масштабы РЛ-изображения являются жесткими значениями и определяются конструкцией станции. Система «Торос» позволяет получить изображение местности в двух масштабах: 1:90 000 и 1:180 000.

Масштаб изображения по азимуту (по оси  $x$ ) определяется как

$$M_x = \frac{V_{px}}{W},$$

где  $V_{px}$  — скорость лентопротяжки пленки перед ЭЛТ (по оси  $x$ );  $W$  — скорость самолета.

Величина отношения  $\frac{V_{px}}{W}$  выбирается такой, чтобы масштаб изображения по азимуту был равен среднему масштабу по дальности. Постоянство этого отношения поддерживается в системе «Торос» с помощью потенциометра вручную.

Сигналы, отраженные от объектов, расположенных на одной линии, будут приходить на приемную линию с различным временем в зависимости от величины дальности того или иного объекта.

Интегральная картина времен прихода отраженных сигналов от всех точек представляет собой ветвь гиперболы, которая приближается к асимптоте тем быстрее, чем меньше высота полета. Для получения равномерного масштаба по дальности необходимо, чтобы развертка накопленного сигнала на ЭЛТ происходила во времени по тому же закону, что и накопление. В системе «Торос» развертка почти линейная и масштаб изображения получается не постоянным, а постепенно увеличивается, причем самый большой градиент находится в ближней по отношению к линии маршрута области.

Оптимальная высота полета при съемке равнинных и слабо-расчлененных районов составляет 2—3 км.

Рабочим потолком системы «Торос», установленной на самолете АН-24, является высота 6500 м.

Определение количества маршрутов на участке и расстояний между ними производится в соответствии с техническими возможностями «Торос» и 50%-ным перекрытием. Расстояние между маршрутами при съемке масштаба 1:90 000 равно 5,6 км, а при съемке масштаба 1:180 000 оно составляет 10 км. Количество и длина маршрутов определяются исходя из максимального времени, которое самолет способен пробыть в воздухе. Рабочее время самолета АН-24 составляет 3,5—4 ч. За один вылет покрывается площадь 5000—6000 км<sup>2</sup> при длине маршрута 100 км.

Дешифрирование материалов РЛ-съемки имеет очень много общего с дешифрированием обычных аэрофотоснимков. В том и другом случае используется весь арсенал дешифровочных признаков и ландшафтных индикаторов. Однако необходимо учитывать особенности дешифрирования материалов РЛ-съемки исходя из физической специфики формирования РЛ-изображений.

Как правило, дешифрирование РЛ-материалов начинают с выделения крупных фрагментов изображения, для чего используется общий анализ рисунка РЛ-изображения: тоновых, структурных и других различий. При выделении крупных фрагментов изображения, как и при дешифрировании отдельных элементов природных условий, полезно использовать РЛ-материалы разных залетов, предпочтительно ориентированных перпендикулярно друг к другу. Выявляется приуроченность выделенных фрагментов к орографическим, геоморфологическим и ландшафтным объектам по топографическим и специальным картам и фондовым материалам.

Рисунок РЛ-изображения состоит из тех же элементов, что и аэрофотографический, и представляет собой систему контуров, отличающихся: 1) тоном; 2) формой; 3) характером границ; 4) внутrikонтурной структурой изображения. Рисунок РЛ-изображения не является повторением аэрофотографического, хотя в некоторых контурах и наблюдается частичное совпадение. Различие рисунков объясняется разной природой фиксируемых явлений, а сходство отражает наличие глубоких взаимосвязей различных явлений и процессов в ландшафтной системе. Кроме того, рисунок РЛ-изображения по сравнению с материалами высотной аэрофотосъемки более генерализован.

Фототон при РЛ-съемке является функцией интенсивности отражения.

При взаимодействии электромагнитных колебаний с любой поверхностью различают: отражение (зеркальное отражение, диффузное рассеяние) и поглощение радиоволн.

Характер отражения зависит от соотношений между размерами облучаемого объекта, длиной волны электромагнитных колебаний и углом, под которым происходит облучение объекта. При зеркальном отражении вся радиоволновая энергия уходит в сторону от радиолокатора, и интенсивность сигнала, пришедшего на приемник, равна нулю (на РЛ-изображении черный цвет). При диффузном отражении электромагнитная волна рассеивается во всех направлениях. Интенсивность принятого сигнала меняется в пределах от пороговой чувствительности приемника до определенных максимальных значений (на РЛ-изображении диффузное отражение образует все переходы от очень темно-серого до белесо-серого).

При интенсивном поглощении радиоволны на приемник поступает очень слабый сигнал (темный фон РЛ-изображения). Величину поглощения определяют физические свойства отражающих объектов, которые зависят от химического состава подстилающей поверхности и структурных особенностей грунтов. Большое влияние на величину поглощения радиоволн оказывает влажность подстилающей поверхности. При увеличении влажности возрастает коэффициент поглощения, что приводит к резкому потемнению тона РЛ-изображения.

Рассмотрим влияние природных факторов на условия отражения радиоволн. Интенсивность отражения зависит от двух основных факторов: шероховатости и угла сканирования. Конфигурация пятен с однотипным рисунком РЛ-изображения определяется геометрическими формами и размерами природных объектов, обладающих едиными свойствами отражения радиоволн. Форма контура, как дешифровочный признак, играет большую роль при идентификации объектов дешифрирования таких объектов, как конуса выноса, просадочные блюда и т. д. Однако геометрия РЛ-изображения этих объектов может быть искажена (за счет технических факторов и влияния рельефа). Коллектив авторов ЛАЭМ для этих целей предлагает метод расчета координат точек на РЛ-изображении. В практических работах, не требующих такой степени точности, можно пользоваться методом аналогов, который заключается в следующем. На аэрофото- и РЛ-материалах находят подобные и удобные для ориентировки элементы изображения (излучины рек, характерные пересечения дорог, элементы рельефа и т. д.). Затем осуществляются идентификация объектов и перенос контуров методом прослеживания обоих типов изображения и интерпретация.

При анализе и интерпретации рисунка РЛ-изображения немаловажную роль играет изучение границ между соседними фрагментами. Они могут иметь четкие, резкие границы по фототону и по внутренней микроструктуре изображения. Характер границ при всестороннем изучении РЛ-изображения может содержать информацию о формах взаимоотношений различных инженерно-геологических тел или компонентов инженерно-геологических условий.

Внутриконтурная структура изображений имеет важное значение при дешифрировании РЛ-изображений. Она отражает особенности РЛ-воспроизведения некоторых поверхностей (например, зернистость характерна для песчано-галечных отложений, сетчатость — для трещиноватых гранитных плутонов) или отображает некоторое разнообразие природных условий (например, микрокомплексность бугристых песков).

На характер РЛ-изображения наибольшее влияние оказывают структурные и текстурные особенности пород, мощность чехла рыхлых отложений, влажность пород, рельеф, литологический и петрографический состав отложений, трещиноватость, тектонические структуры, почвенно-растительный покров.

В большинстве случаев эти факторы, воздействуя одновременно, дают интегральное изображение, которое увязывается с ландшафтными комплексами разных рангов. В отдельных случаях выделяется ведущий, наиболее сильный фактор (например, зона поверхностного увлажнения вдоль русла подземного стока) и тогда фрагмент изображения согласуется с каким-либо одним из компонентов ландшафтно-геологического строения или его свойствами. Следовательно, в наиболее общем случае фрагменты РЛ-изображения увязываются с ПТК, что открывает возможность

широкого использования ландшафтно-индикационной интерпретации РЛ-изображения для получения как специфической, так и комплексной информации.

Методические приемы интерпретации РЛ-изображения, информативность и достоверность дешифрирования зависят от конкретных особенностей природных условий. Так, в качестве примера приведены результаты дешифрирования РЛ-снимков ландшафтов сильновы положенных равнин аридного района (рис. 41). Здесь выделяются различные генетические типы ландшафтов, соответствующие геолого-генетическим комплексам рыхлых четвертичных отложений. Они устанавливаются лишь по интегральному характеру РЛ-изображения, сопоставленного с натурным их изучением на ключевых участках. Изучение показало, что при выявлении геолого-генетических комплексов рыхлых четвертичных отложений материалы РЛ-съемки не дали принципиально новой информации по сравнению с аэрофотосъемкой того же масштаба.

В то же время неглубокозалегающие линзы грунтовых вод и подземные потоки дешифрируются на РЛ-снимках непосредственно, что обуславливает прирост дополнительной информации, не отображаемой при обычном аэрофотографировании.

Применение РЛ-съемки при региональных инженерно-геологических исследованиях позволяет сделать следующие выводы.

1. По сравнению с материалами аэрофотосъемки РЛ-материалы воспроизводят подстилающую поверхность более генерализованно.

2. Радиолокационное изображение значительно отличается от аэрофотоизображения, что требует специальной подготовки дешифровщиков. На РЛ- и аэрофотоизображении находят отражение природные объекты, имеющие качественно различную природу. Поэтому в определенных случаях РЛ-материалы обеспечивают прирост информации. Благодаря интегральности РЛ-изображения на РЛ-материалах удается выделить почти все генетические типы ПТК и применить ландшафтно-индикационный метод их интерпретации.

3. Дешифрирование РЛ-материалов следует производить при сопоставлении с аэрофотоснимками для привязки объектов (из-за больших геометрических искажений), а также использовать их как вспомогательный материал при анализе и интерпретации РЛ-изображения.

4. В условиях аридных равнин наилучшие результаты по обилию и проработке деталей устройства поверхности обеспечивают радиолокационные снимки весеннего цикла.

5. При изучении территории, где отсутствует единая строго выраженная ориентировка природных объектов, желательно располагать РЛ-материалы двух залетов с разной направленностью луча сканирования. При этом одна часть объектов дешифрируется только по материалам одного залета, а часть по материалам другого. Результаты дешифрирования разных залетов необходимы

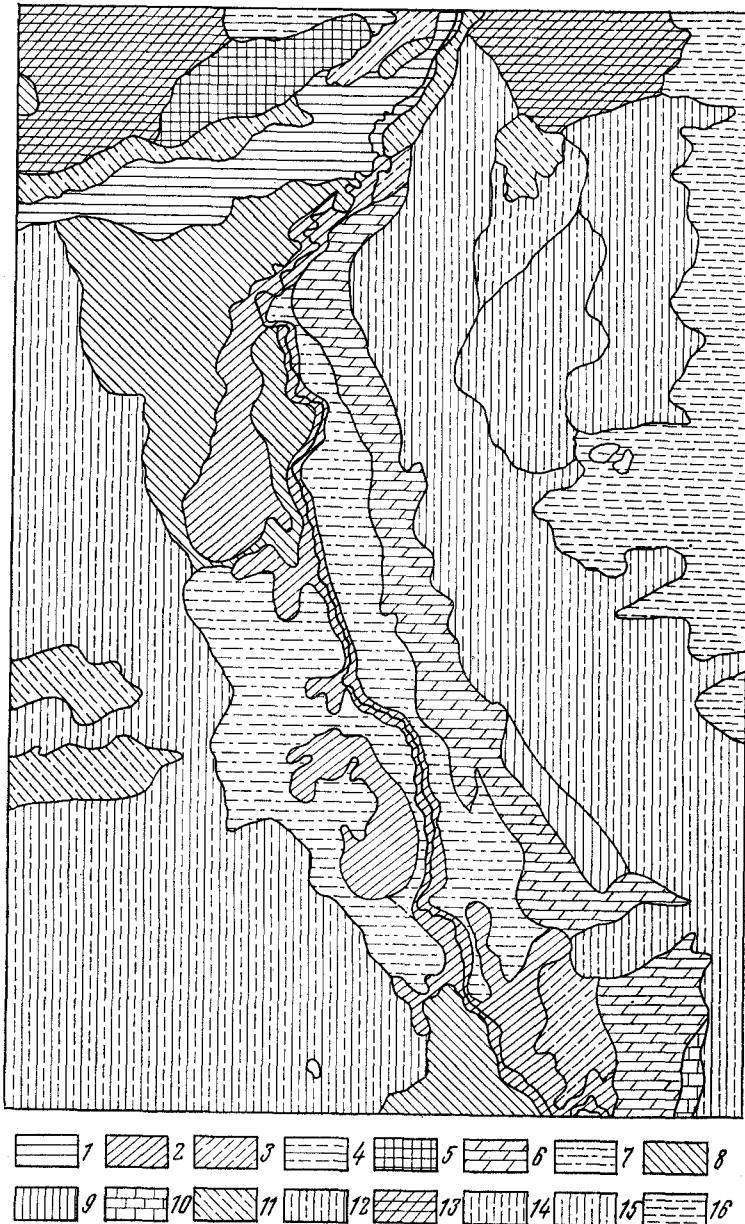


Рис. 41. Фрагмент схематической карты аридного района, составленной по результатам дешифрирования радиолокационных снимков:

1 — пойма лесостепная; 2 — пойма степная; 3 — первая надпойменная терраса, частично распаханная; лесостепная; 4 — вторая надпойменная терраса, частично распаханная, лугово-степная с колками; 5 — вторая надпойменная терраса, распаханная, местами с целинными степями и колками; 6 — вторая надпойменная терраса, частично распаханная с целинными степями и колками; 7 — вторая надпойменная терраса, распаханная; 8 — вторая надпоймен-

ная терраса, озерно-западинная, лугово-степная; 9 — третья надпойменная терраса, степная; 10 — третья озерно-аллювиальная терраса, местами распаханная, степная; 11 — боровые пески; 12 — склоновая равнина, преимущественно распаханная, степная; 13 — склоновая равнина, преимущественно распаханная, лесостепная; 14 — склоновая и плакорно-озерная равнина, частично распаханная, лесостепная; 15 — плакорно-западинно-озерная равнина, частично распаханная, лесостепная; 16 — плакорная равнина, лесостепная

мо совмещать. Участки несовпадения дешифровочных признаков следует анализировать особенно тщательно.

6. При выделении на РЛ-материалах ландшафтных комплексов опираются на общий характер изображения: форму контура, тоновые признаки, внутренконтурный рисунок изображения. Затем выделенные фрагменты сопоставляются с ландшафтным, анализируются и интерпретируются. Иногда внутренконтурный рисунок изображения увязывается с морфоструктурными элементами ландшафта. В ряде случаев широко может быть использован метод эталонирования и работы на ключевых участках с последующей экстраполяцией в пределах ландшафтов-аналогов.

7. Объем информации и дешифрируемость территории по РЛ-материалам значительно варьирует в зависимости от ландшафтно-геологических условий. В этом случае условия дешифрируемости для РЛ-материалов и аэрофотоснимков не совпадают.

#### ИНФРАКРАСНАЯ СЪЕМКА

Одним из перспективных методов дистанционных исследований природной среды является инфракрасная (ИК) съемка. Под ИК-съемкой понимается получение изображения путем регистрации невидимого теплового излучения земной поверхности в ближней ( $\lambda=0,76-1,2$  мкм), средней ( $\lambda=3-5$  мкм) и дальней ( $\lambda=8-14$  мкм) части инфракрасной области спектра.

В настоящее время в практике различных видов исследований широко используется ИК-съемка в ближней части спектра. Для этих целей практически применяются те же способы получения изображения, что и в видимом диапазоне, т. е. фотографические, телевизионные и другие системы. Методика дешифрирования изображений, полученных этими способами, практически аналогична дешифрированию материалов обычной аэрофотосъемки. Существенные отличия имеет ИК-съемка в среднем и дальнем диапазоне инфракрасной области спектра, которую называют тепловой ИК-съемкой. Для регистрации излучения в указанных диапазонах применяется специальная тепловизионная сканерная аппаратура. Наиболее перспективными являются двухканальные (3—5 и 8—14 мкм) тепловизоры.

С помощью тепловизоров можно фиксировать собственное тепловое излучение природных объектов, так как величина солнечного излучения в этих спектральных диапазонах сравнительно мала. Поэтому тепловая ИК-съемка обеспечивает получение принципиально новой информации по сравнению со съемкой в видимой части спектра. Связано это с тем, что информация, по-

---

ная терраса, озерно-западинная, лугово-степная; 9 — третья надпойменная терраса, степная; 10 — третья озерно-аллювиальная терраса, местами распаханная, степная; 11 — боровые пески; 12 — склоновая равнина, преимущественно распаханная, степная; 13 — склоновая равнина, преимущественно распаханная, лесостепная; 14 — склоновая и плакорно-озерная равнина, частично распаханная, лесостепная; 15 — плакорно-западинно-озерная равнина, частично распаханная, лесостепная; 16 — плакорная равнина, лесостепная

лучаемая в видимом и ближнем ИК-диапазоне, формируется в основном под влиянием различий в спектральной отражательной способности объектов, в то время как построение изображения в средне- и длинноволновой части ИК-спектра определяется различиями в их излучательной способности, главным образом зависящей от температуры тел. Формирование температурных контрастов на их изображении обусловлено нагревом земной поверхности внутренним теплом Земли и Солнца и определяется в основном теплофизическими характеристиками природных образований. Отмечается сильная динамика тепловых контрастов в зависимости от сезона года и времени суток. На величину теплового контраста оказывают влияние также облачность, запыленность атмосферы, туман, атмосферные осадки, экспозиция склонов, характер растительности. Поэтому для получения наиболее полной и надежной информации необходимо знание оптимальных условий проведения ИК-съемки. Для изучения большинства объектов наиболее представительную информацию дает ИК-съемка в предрасветное и послеполуденное время. Рекомендуется использование ИК-съемки, выполненной в различное время суток.

В настоящее время представляется перспективным использование тепловой ИК-съемки при региональных инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях для решения следующих задач: 1) изучения вулканической и гидротермальной деятельности и прогнозирования их проявлений; 2) выявления зон разгрузки подземных вод, в том числе в прибрежной шельфовой зоне морей и океанов, в руслах рек и озерах; 3) установления обводненных зон трещиноватости разломов; 4) картирования таликовых зон, островной мерзлоты и проявления других криогенных процессов; 5) выявления участков самовозгорающихся горных пород (угля, торфа, сланцев и пр.) и зон окисления близкозалегающих сульфидных руд; 6) определения неглубоко-залегающих грунтов вод; 7) изучения оползневых процессов, засоления и карста; 8) выявления зон подтопления и заболачивания по берегам водохранилищ и каналов; 9) изучения влажности пород и ее изменения во времени на массивах орошения и осушения; 10) картирования горных пород, различающихся по своим свойствам (плотность, влажность, теплопроводность, гранулометрический состав и пр.). Тепловую ИК-съемку целесообразно применять при решении вышеуказанных задач избирательно, т. е. в тех случаях, когда необходимо получение информации, которую невозможно приобрести с помощью обычной фотосъемки.

Наиболее эффективно использование ИК-съемки в комплексе с другими дистанционными методами исследований и, в первую очередь, с фотосъемкой и сверхвысокочастотным зондированием.

В связи с влиянием многочисленных факторов на формирование тепловых контрастов для обеспечения однозначности и повышения достоверности дешифрирования ИК-изображений необходимы наземные проверочные работы, включающие выполнение термометрических исследований.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенный в монографии материал свидетельствует о широких возможностях аэrolандшафтно-индикационного метода при региональных инженерно-геологических исследованиях. Однако работа не исчерпывает всех сторон его применения. В ней определены лишь основные теоретико-методические подходы к использованию этого метода, показаны характерные индикаторы инженерно-геологических условий для широко распространенных ландшафтов СССР и отражена специфика индикации при инженерно-геологических исследованиях для некоторых видов строительства. Несомненно, что этот перспективный метод, использующий современные достижения в области аэрокосмических исследований будет развиваться и совершенствоваться в дальнейшем. В этой связи возникает задача поиска, систематизации и унификации частных и комплексных индикаторов инженерно-геологических условий для отдельных крупных территорий с составлением региональных справочников, иллюстрированных типичными аннотированными аэро- и космическими снимками.

Проводившиеся в последние годы исследования по применению ландшафтно-индикационного метода для прогноза изменений инженерно-геологических условий и охраны геологической среды в дальнейшем приобретут больший размах. Планомерное и регулярное фотографирование территории нашей страны из воздушного и космического пространства обеспечит получение объективной и оперативной информации об изменениях инженерно-геологической обстановки. При этом особенно актуально выявление индикаторов начальных стадий и потенциально опасных очагов экзогенных процессов с целью разработки мероприятий по устранению их неблагоприятного воздействия.

В дальнейшем, очевидно, возрастает роль количественных характеристик при ландшафтно-индикационном анализе инженерно-геологических условий по материалам аэрокосмических съемок, что позволит более обоснованно проводить индикацию, определять характер связей между индикаторами и индикатами, устанавливать достоверность дешифрирования и т. п. Этому будет способствовать автоматизация дешифрирования аэрокосмических изображений.

Более широкое развитие получат и новые виды дистанционных аэрокосмических исследований: радиолокационная, тепловая и многозональная съемки.

Недостаточно разработанными в настоящее время остаются вопросы комплексирования ландшафтно-индикационного метода с другими видами исследований и, в частности, с геофизическими

(электроразведкой, сейсмикой, магниторазведкой и др.) и пневматическими работами при инженерно-геологических съемках. Такое комплексирование позволит преобразовать в основном площадную инженерно-геологическую модель, составленную по материалам аэрокосмических съемок, в объемную, наполнить ее более достоверным содержанием и уточнить.

Таким образом, вышеперечисленные направления обеспечат дальнейший прогресс ландшафтно-индикационных исследований в инженерной геологии.

## Список литературы

1. Альтер С. П. Ландшафтный метод дешифрирования аэроснимков. — М.—Л.: Наука, 1966. — 88 с.
2. Аристархова Л. Б. Процессы аридного рельефообразования. — М.: Изд-во МГУ, 1971. — 175 с.
3. Атаев Э. А. Смена растительных сообществ подгорной равнины Копет-Дага в связи с формированием гранулометрических и геохимических фаций пролювиальных отложений. — Экология. 1972, № 6, с. 52—55.
4. Аэrolандшафтные методы индикации природных процессов. — М.: ВСЕГИН-ГЕО, 1972. — 118 с.
5. Бондарик Г. К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород. — М.: Недра, 1971. — 271 с.
6. Брюханов В. Н., Еремин В. К. Итоги внедрения новых видов региональных геологических работ в системе Министерства геологии СССР. — Обзор. Общая и региональная геология и геол. картирование. — М.: ВИЭМС, 1975. — 30 с.
7. Валях В. М., Чаповский Е. Г. Аэрофотометоды при региональных инженерно-геологических исследованиях в аридных районах. — М.: Недра, 1977. — 158 с.
8. Викторов А. С. К вопросу об индикационном значении рисунка аэрофотоизображений и карт. — В кн.: Биogeографические основы индикации природных процессов. — М.: МФГО, 1974, с. 93—95.
9. Викторов С. В. Использование индикационных географических исследований в инженерной геологии. — М.: Недра, 1966. 120 с.
10. Викторов С. В. Вопросы индикации природных процессов. — В кн.: Программа, тезисы и аннотации докладов по вопросам фитоиндикации. — Л.: Изд-во Геогр. об-ва СССР, 1967, с. 54—55.
11. Викторов С. В. Аэrolандшафтная индикация последствий деятельности человека в пустынях. — М.: Недра, 1973. — 57 с.
12. Викторов С. В. Ландшафтные индикаторы гидрологических и инженерно-геологических условий в районах орошения и обводнения пустынь. — М.: Недра, 1976. — 56 с.
13. Викторов С. В., Востокова Е. А., Вышивкин Д. Д. Введение в индикационную геоботанику. — М.: Изд-во МГУ, 1962. — 227 с.
14. Виноградов Б. В. Растительные индикаторы и их использование при изучении природных ресурсов. — М.: Изд-во Высшая школа, 1964. — 328 с.
15. Виноградов Б. В. Аэротехники изучения растительности аридных зон. — М.—Л.: Наука, 1966. — 362 с.
16. Виноградов Б. В. Космические методы изучения природной среды. — М.: Мысль, 1976. — 286 с.
17. Вишняков А. С., Куликов Г. В., Соколов В. Н. О гидрогеологических иссле-

- дованиях для изучения искусственного формирования пресных грунтовых вод на Устюрте. — Проблемы освоения пустынь, 1969, № 3, с. 43—52.
18. Востокова Е. А. Геobotанические методы поисков подземных вод в засушливых областях СССР. — М.: Госгеолтехиздат, 1961. — 88 с.
  19. Гвоздецкий Н. А. Проблемы физической географии. — М.: Изд-во МГУ, 1973. — 148 с.
  20. Гудилин И. С., Комаров И. С. Применение аэрометодов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях. — М.: Недра, 1978. — 319 с.
  21. Дешифрирование четвертичных отложений Русской равнины. Методическое пособие. — М.—Л.: Наука, 1966. — 264 с.
  22. Дистанционные методы в гидрогеологии и инженерной геологии. Обзор: Гидрогеология и инж. геология. — М.: Изд. ВИЭМС, 1975. — 64 с.
  23. Изучение физико-геологических процессов на побережьях и берегах водохранилищ по аэроснимкам. — Л.: Наука, 1967. — 238 с.
  24. Кац Д. М., Рябухин А. Г., Трофимов Д. М. Космические методы в геологии. — М.: Изд-во МГУ, 1976. — 246 с.
  25. Киреев Л. М. Принципы и признаки дешифрирования природных территориальных комплексов по аэроснимкам. — В кн.: Ландшафтный метод лесного дешифрирования аэроснимков, 1976, с. 72—102.
  26. Кузьмина И. В. Типы лесов как индикаторы некоторых инженерно-геологических условий (на примере Карелии). — В кн.: Современные методы исследований в гидрогеологии и инж. геологии. — М.: 1970. Изд. ВСЕГИНГЕО, с. 150—158.
  27. Кузьмина И. В. Варьирование форм воздействия человека на природу и особенности их индикации (в условиях БССР). — В кн.: Ландшафтная индикация и ее использование в народном хозяйстве. — М.: Изд. ВСЕГИНГЕО (ротапринт), 1979, с. 81—82.
  28. Ландшафтная индикация природных процессов. — М.: Наука, 1976. — 207 с.
  29. Ландшафтные индикаторы инженерно-геокриологических условий севера Западной Сибири и их дешифровочные признаки/Е. С. Мельников, Л. И. Вейсман, Л. И. Крицук и др. — М.: Недра, 1974. — 132 с.
  30. Методическое руководство по гидрогеологическим и инженерно-геологическим исследованиям для мелиоративного строительства. — М.: 1972.
  31. Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1 : 200 000. — М.: Недра, 1978. — 391 с.
  32. Несветайлова Н. Г., Горяннова И. Н. Методические указания по инженерно-геологическому дешифрированию аэроснимков при изыскании дорог в песчаных пустынях. — М.: Изд-во Всес. науч. иссл. ин-та транспортн. стр-ва, 1971. — 46 с.
  33. Островский В. Н. Формирование подземных вод в аридных районах Казахстана. — Л.: Гидрометеоиздат, 1976. — 227 с.
  34. Применение аэрометодов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях. — М.: Изд. ВСЕГИНГЕО, 1971. — 84 с.
  35. Растительные индикаторы почв, горных пород и подземных вод. — М.: Наука, 1964. — 248 с.
  36. Садов А. В. Аэрометоды изучения селей. — М.: Недра, 1972. — 125 с.
  37. Садов А. В. Изучение экзогенных процессов аэроландшафтными методами. — М.: Недра; 1978а. — 151 с.
  38. Садов А. В. Методы использования данных дистанционного зондирования при решении гидрогеологических и инженерно-геологических задач. — Мат-лы Между. уч. семинара ООН по применению дистанционного зондирования. — Баку: ЭЛМ, 1977, с. 314—334.
  39. Садов А. В., Ревzon А. Л., Чалидзе Ф. Н. Изучение экзогенных процессов в районах крупных водохранилищ аэроландшафтным методом. — М.: Недра, 1976. — 48 с.
  40. Садов А. В., Ревзон А. Л. Аэрокосмические методы в гидрогеологии и инженерной геологии. — М.: Недра, 1979. — 218 с.
  41. Сергеев Е. М. Инженерная геология — наука о геологической среде. — Инженерная геология, 1979, № 1. — с. 3—9.
  42. Скоростные методы инженерно-геологических исследований для целей масштабного строительства. — М.: Недра, 1964. — 290 с.
  43. Скоростные методы исследований при гидрогеологических и инженерно-геологических съемках. — М.: Недра, 1969. — 336 с.
  44. Справочник-определитель литологического состава поверхностных отложений и глубины залегания грунтовых вод. — М.: Сельхозгиз, 1963. — 261 с.
  45. Толчельников Ю. С. Оптические свойства ландшафта. — Л.: Наука, 1974. — 252 с.
  46. Харин Н. Г. Дистанционные методы изучения растительности. — М.: Наука, 1975. — 131 с.
  47. Colwell R. N. Uses and limitations of multispectral remote sensing. Proc. Fourth Symposium on Remote sensing of environment. 12, 13, 14, Michigan, 1966. — p. 1212—1222.
  48. Horton R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. — Bull. Geol. Soc. Amer., v. 56, 1945. — p. 275—370.
  49. Wermund E. C. Remote sensors for hydrogeologic prospecting in arid terrains. „IEEE Trans. Geosci. Electron“, 1971, v. 9, No 3. — p. 120—130.
  50. Wood Ch. R. Ground-Water flow. „Photogramm. Eng.“, 1972, v. 38, No. 4 p. 347—352.

## Предметный указатель

Агроэкологические индикаторы 147, 150, 151  
Анализ края 180  
Аэровизуальные наблюдения 11, 110, 127, 147, 150, 151  
Аэроландшафтная индикация 3, 4—12, 107, 115  
Аэрофоторисунок 8, 13, 52, 53, 107  
Аэрофотоснимок (АФС) 3, 4, 5, 7, 8, 13—16, 51, 52, 104, 107, 108, 112, 117, 124, 125, 150—152  
Аэрофотосъемка 13  
Аэрофотосъемка перспективная 14, 30  
Базис фотографирования 14, 33  
Балка 89, 170  
Береговая линия 161  
Береговой уступ 160  
Блюдца степные 86, 87  
Бугры-булаки 127  
Впадина бессточная 117, 119, 120  
Галофация 118, 120  
Генетический тип рельефа 133  
Группа процессов 10, 11  
Дистанционная съемка 181  
Долины 73  
Достоверность индикатора 6, 7  
Друмлины 62  
Дюны материковые 70  
Законы Хортона 43  
Западины 87, 97  
  
Измерение длин 19  
Измерение площадей 28  
Измерение превышений 19, 27  
Измерение продольных параллаксов 26  
Измерение снимков 14  
Измерение уклонов 27  
Индикат 5, 7, 102, 152, 155, 171  
Индикаторы 5, 7, 52, 60, 87, 100, 102—105, 122, 125—127, 147—149, 150—155, 196  
Индикационное ландшафтovedение 4, 5  
Индикационная схема 7, 135  
Индикация инженерно-геологических условий 126, 128  
Инфракрасная съемка 193—195

Камы 69  
Карст 44, 113, 114, 165, 166  
Карта восстановленного ландшафта 151, 152  
Карта индикационная 11  
Классификация 9  
Компоненты ПТК 4, 5  
Космическая индикация 182  
Космофотокарты 183—186  
КосмоФотоснимок 3, 4, 7, 8, 102, 104, 107, 181—186  
КосмоФотосъемка 181—183  
Ландшафт 107—111, 118—121, 133, 136  
Ландшафт мелиорируемых земель 146  
Ландшафтно-генетический ряд 9—11  
Ландшафтно-индикационный метод 3  
Ландшафтно-мелиоративный комплекс 148—150  
Ландшафтное дешифрирование 8, 9  
Ландшафтное соседство 36—41  
Ландшафтный рисунок 8, 36—50, 52, 97, 107, 120  
Ландшафтovedение 4  
Ландшафты моренных равнин 64, 65  
Ландшафты озерно-ледниковых равнин 64, 66  
Ландшафты речных долин 66  
Лесная зона 63, 68  
Лиманы 96—98  
Линейные изыскания 12, 174—180  
Литогенная основа 4, 51  
Ложбины 69, 89  
Локальный индикатор 7  
Лощина 89  
  
Матрица 35—40  
Местность 134—136  
Мелиоративная система 147  
Микроландшафт 9  
Микроструктура 178  
Объекты индикации 6, 182, 183  
Озы 62, 69  
Оползни 93, 94  
Оптическая модель ландшафта 181  
Отмель подводная 162—164  
  
Панареальный индикатор 6  
Плоскостная фототриангуляция 28  
Подтопление 170  
Поды 87

Пояса конечно-моренные 72  
Предгорные равнины 115—117  
Признаки дешифрирования 188  
ПТК (природно-территориальный комплекс) 4—10  
Пустыни 99—115, 176, 177  
Равнины аллювиальные 69, 70  
Равнины аккумулятивные 69, 71  
Равнины возвышенно-моренные 71  
Равнины донно-моренные 71  
Равнины зандровые 68, 70  
Равнины западинные 86  
Равнины озерные и морские 72  
Радиаллангограф 22  
Радиолокационные изображения 186—188  
Радиолокационная съемка 186—191  
Распределение Пуассона 44—47  
Региональный индикатор 6  
Сельги 60  
Семиаридный 85  
Сопутствующая аэроландшафтная индикация 146—148  
Стадия развития 10  
Стереокомпаратор 16  
Стереометр 21  
Стереомодель 14  
Стереопантометр 21  
Стереопара 14  
Стереоскоп 14, 21  
Стратиграфо-генетический комплекс 8, 133  
  
Суффозионно-карстовый процесс 44, 97  
Суходол 167, 172  
Такыры 100, 111, 112  
Тепловизор 193—195  
Тип берега 162—164  
Тип физиономичности территории 9  
Точка надира 34  
  
Уровень генерализации 182, 183  
Урочище 7, 8, 409, 174  
  
Фация 7, 8, 9, 103  
Формирование радиолокационных изображений 188, 189  
Формы рельефа карстовые 165—167  
Форма рельефа флювиальная 89  
Фотограмметрическая модель 14, 32, 34  
Фотограмметрические измерения 13  
  
Шкала достоверности 6, 7  
  
Экологические реликты 150  
Эколого-генетический ряд 10  
Экстраполяция 11, 50  
Эктоярус ПТК 5, 7  
Элементы взаимного ориентирования 17  
Элементы ряда 10, 11  
Эрозионно-аккумулятивные равнины 88  
Эрозионные процессы 169, 170

## Оглавление

---

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Введение. С. В. Викторов, А. В. Садов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">3</td> </tr> <tr> <td>Г л а в а I. Общие сведения об аэrolандшафтной индикации. С. В. Викторов, А. В. Садов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">4</td> </tr> <tr> <td>Г л а в а II. Использование количественных методов при аэrolандшафтной индикации инженерно-геологических условий . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">13</td> </tr> <tr> <td>    Получение исходных количественных характеристик по данным измерения на аэрофотоснимках. Р. Н. Гельман . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">18</td> </tr> <tr> <td>    Перспективная аэрофотосъемка. Р. Н. Гельман . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">30</td> </tr> <tr> <td>    Использование производных количественных характеристик физиономических особенностей территории при индикации инженерно-геологических условий. А. С. Викторов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">35</td> </tr> <tr> <td>Г л а в а III. Аэrolандшафтная индикация в инженерно-геологических исследованиях в гумидных лесо-болотных регионах . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">51</td> </tr> <tr> <td>    Особенности индикации в лесных ландшафтах. И. В. Кузьмина . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">51</td> </tr> <tr> <td>    Особенности индикации на болотах и лугах. С. В. Викторов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">54</td> </tr> <tr> <td>    Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в пределах ландшафтов окраины Балтийского кристаллического щита (Карелия). И. В. Кузьмина . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">59</td> </tr> <tr> <td>    Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в пределах развития ледниковых и водно-ледниковых отложений северо-запада европейской части СССР. И. В. Кузьмина . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">64</td> </tr> <tr> <td>    Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в лесо-болотных равнинах Западно-Сибирской низменности. М. Т. Илюшина . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">75</td> </tr> <tr> <td>Г л а в а IV. Аэrolандшафтная индикация при инженерно-геологических исследованиях в с semiаридных равнинных районах. Н. П. Назарова . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">85</td> </tr> <tr> <td>    Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в пределах semiаридных равнин, подвергшихся коренным антропогенным преобразованиям . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">85</td> </tr> <tr> <td>    Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в пределах semiаридных равнин со значительной сохранностью естественных природно-территориальных комплексов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">95</td> </tr> <tr> <td>Г л а в а V. Аэrolандшафтная индикация при инженерно-геологических исследованиях в аридных регионах . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">99</td> </tr> <tr> <td>    Типологическое разделение аридных регионов для индикационных целей. С. В. Викторов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">99</td> </tr> <tr> <td>    Аэrolандшафтная индикация в песчаных пустынях. А. С. Викторов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">102</td> </tr> <tr> <td>    Аэrolандшафтная индикация в супесчано-суглинистых пустынях древних аллювиально-дельтовых равнин. С. В. Викторов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">107</td> </tr> <tr> <td>    Аэrolандшафтная индикация в суглинистых и глинистых пустынях останцовых плато и ограничивающих их обрывов (чинков). А. Л. Ревzon . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">108</td> </tr> <tr> <td>    Аэrolандшафтная индикация в щебнистых и суглинисто-щебнистых пустынях останцовых плато. А. Л. Ревзон . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">112</td> </tr> <tr> <td>    Аэrolандшафтная индикация в щебнистых и суглинистых пустынях предгорных равнин. С. В. Викторов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">115</td> </tr> </table>	Введение. С. В. Викторов, А. В. Садов . . . . .	3	Г л а в а I. Общие сведения об аэrolандшафтной индикации. С. В. Викторов, А. В. Садов . . . . .	4	Г л а в а II. Использование количественных методов при аэrolандшафтной индикации инженерно-геологических условий . . . . .	13	Получение исходных количественных характеристик по данным измерения на аэрофотоснимках. Р. Н. Гельман . . . . .	18	Перспективная аэрофотосъемка. Р. Н. Гельман . . . . .	30	Использование производных количественных характеристик физиономических особенностей территории при индикации инженерно-геологических условий. А. С. Викторов . . . . .	35	Г л а в а III. Аэrolандшафтная индикация в инженерно-геологических исследованиях в гумидных лесо-болотных регионах . . . . .	51	Особенности индикации в лесных ландшафтах. И. В. Кузьмина . . . . .	51	Особенности индикации на болотах и лугах. С. В. Викторов . . . . .	54	Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в пределах ландшафтов окраины Балтийского кристаллического щита (Карелия). И. В. Кузьмина . . . . .	59	Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в пределах развития ледниковых и водно-ледниковых отложений северо-запада европейской части СССР. И. В. Кузьмина . . . . .	64	Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в лесо-болотных равнинах Западно-Сибирской низменности. М. Т. Илюшина . . . . .	75	Г л а в а IV. Аэrolандшафтная индикация при инженерно-геологических исследованиях в с semiаридных равнинных районах. Н. П. Назарова . . . . .	85	Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в пределах semiаридных равнин, подвергшихся коренным антропогенным преобразованиям . . . . .	85	Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в пределах semiаридных равнин со значительной сохранностью естественных природно-территориальных комплексов . . . . .	95	Г л а в а V. Аэrolандшафтная индикация при инженерно-геологических исследованиях в аридных регионах . . . . .	99	Типологическое разделение аридных регионов для индикационных целей. С. В. Викторов . . . . .	99	Аэrolандшафтная индикация в песчаных пустынях. А. С. Викторов . . . . .	102	Аэrolандшафтная индикация в супесчано-суглинистых пустынях древних аллювиально-дельтовых равнин. С. В. Викторов . . . . .	107	Аэrolандшафтная индикация в суглинистых и глинистых пустынях останцовых плато и ограничивающих их обрывов (чинков). А. Л. Ревzon . . . . .	108	Аэrolандшафтная индикация в щебнистых и суглинисто-щебнистых пустынях останцовых плато. А. Л. Ревзон . . . . .	112	Аэrolандшафтная индикация в щебнистых и суглинистых пустынях предгорных равнин. С. В. Викторов . . . . .	115	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Аэrolандшафтная индикация в солончаковых пустынях. С. В. Викторов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">117</td> </tr> <tr> <td>Аэrolандшафтная индикация в меловых пустынях. С. В. Викторов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">122</td> </tr> <tr> <td>Аэrolандшафтная индикация в полупустынях и северных вариантах пустынь. А. С. Викторов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">125</td> </tr> <tr> <td>Г л а в а VI. Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в горных районах. А. В. Садов, Л. З. Сискеевич . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">132</td> </tr> <tr> <td>    Особенности аэrolандшафтной индикации в горах . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">132</td> </tr> <tr> <td>    Опыт разработки системы ландшафтных индикаторов некоторых инженерно-геологических условий для горной системы Тянь-Шаня</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">136</td> </tr> <tr> <td>Г л а в а VII. Аэrolандшафтная индикация изменения природных условий в связи с мелиорацией . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">146</td> </tr> <tr> <td>    Основные черты применения аэrolандшафтной индикации на площадях, подвергшихся мелиорации. С. В. Викторов, И. В. Кузьмина . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">146</td> </tr> <tr> <td>    Некоторые особенности методики исследований при сопутствующей индикации. И. В. Кузьмина . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">155</td> </tr> <tr> <td>Г л а в а VIII. Особенности аэrolандшафтной индикации инженерно-геологических условий в зоне действия водохранилищ (при гидроэнергетическом и гидротехническом строительстве). А. Л. Ревзон, А. В. Садов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">160</td> </tr> <tr> <td>    Аэrolандшафтная индикация процессов переработки берегов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">160</td> </tr> <tr> <td>    Аэrolандшафтная индикация карста и связанных с ним процессов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">165</td> </tr> <tr> <td>    Аэrolандшафтная индикация эрозионно-оползневых процессов и подтопления . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">167</td> </tr> <tr> <td>    Аэrolандшафтная индикация геолого-литологических и структурно-тектонических условий . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">171</td> </tr> <tr> <td>Г л а в а IX. Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий при различных видах строительства . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">174</td> </tr> <tr> <td>    Особенности применения аэrolандшафтной индикации при среднемасштабных инженерно-геологических съемках, производимых в связи со строительством. А. В. Садов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">174</td> </tr> <tr> <td>    Особенности применения аэrolандшафтной индикации при крупномасштабных изысканиях в связи со строительством. С. В. Викторов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">178</td> </tr> <tr> <td>Г л а в а X. Перспективы использования новых видов дистанционных методов при региональных инженерно-геологических исследованиях . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">181</td> </tr> <tr> <td>    Космофотосъемка. А. Л. Ревзон, А. В. Садов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">181</td> </tr> <tr> <td>    Радиолокационная съемка. В. М. Валях . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">186</td> </tr> <tr> <td>    Инфракрасная съемка. В. М. Валях, А. В. Садов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">193</td> </tr> <tr> <td>Заключение. А. В. Садов, С. В. Викторов . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">195</td> </tr> <tr> <td>Список литературы . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">197</td> </tr> <tr> <td>Предметный указатель . . . . .</td> <td style="text-align: right; vertical-align: bottom;">200</td> </tr> </table>	Аэrolандшафтная индикация в солончаковых пустынях. С. В. Викторов . . . . .	117	Аэrolандшафтная индикация в меловых пустынях. С. В. Викторов . . . . .	122	Аэrolандшафтная индикация в полупустынях и северных вариантах пустынь. А. С. Викторов . . . . .	125	Г л а в а VI. Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в горных районах. А. В. Садов, Л. З. Сискеевич . . . . .	132	Особенности аэrolандшафтной индикации в горах . . . . .	132	Опыт разработки системы ландшафтных индикаторов некоторых инженерно-геологических условий для горной системы Тянь-Шаня	136	Г л а в а VII. Аэrolандшафтная индикация изменения природных условий в связи с мелиорацией . . . . .	146	Основные черты применения аэrolандшафтной индикации на площадях, подвергшихся мелиорации. С. В. Викторов, И. В. Кузьмина . . . . .	146	Некоторые особенности методики исследований при сопутствующей индикации. И. В. Кузьмина . . . . .	155	Г л а в а VIII. Особенности аэrolандшафтной индикации инженерно-геологических условий в зоне действия водохранилищ (при гидроэнергетическом и гидротехническом строительстве). А. Л. Ревзон, А. В. Садов . . . . .	160	Аэrolандшафтная индикация процессов переработки берегов . . . . .	160	Аэrolандшафтная индикация карста и связанных с ним процессов . . . . .	165	Аэrolандшафтная индикация эрозионно-оползневых процессов и подтопления . . . . .	167	Аэrolандшафтная индикация геолого-литологических и структурно-тектонических условий . . . . .	171	Г л а в а IX. Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий при различных видах строительства . . . . .	174	Особенности применения аэrolандшафтной индикации при среднемасштабных инженерно-геологических съемках, производимых в связи со строительством. А. В. Садов . . . . .	174	Особенности применения аэrolандшафтной индикации при крупномасштабных изысканиях в связи со строительством. С. В. Викторов . . . . .	178	Г л а в а X. Перспективы использования новых видов дистанционных методов при региональных инженерно-геологических исследованиях . . . . .	181	Космофотосъемка. А. Л. Ревзон, А. В. Садов . . . . .	181	Радиолокационная съемка. В. М. Валях . . . . .	186	Инфракрасная съемка. В. М. Валях, А. В. Садов . . . . .	193	Заключение. А. В. Садов, С. В. Викторов . . . . .	195	Список литературы . . . . .	197	Предметный указатель . . . . .	200
Введение. С. В. Викторов, А. В. Садов . . . . .	3																																																																																												
Г л а в а I. Общие сведения об аэrolандшафтной индикации. С. В. Викторов, А. В. Садов . . . . .	4																																																																																												
Г л а в а II. Использование количественных методов при аэrolандшафтной индикации инженерно-геологических условий . . . . .	13																																																																																												
Получение исходных количественных характеристик по данным измерения на аэрофотоснимках. Р. Н. Гельман . . . . .	18																																																																																												
Перспективная аэрофотосъемка. Р. Н. Гельман . . . . .	30																																																																																												
Использование производных количественных характеристик физиономических особенностей территории при индикации инженерно-геологических условий. А. С. Викторов . . . . .	35																																																																																												
Г л а в а III. Аэrolандшафтная индикация в инженерно-геологических исследованиях в гумидных лесо-болотных регионах . . . . .	51																																																																																												
Особенности индикации в лесных ландшафтах. И. В. Кузьмина . . . . .	51																																																																																												
Особенности индикации на болотах и лугах. С. В. Викторов . . . . .	54																																																																																												
Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в пределах ландшафтов окраины Балтийского кристаллического щита (Карелия). И. В. Кузьмина . . . . .	59																																																																																												
Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в пределах развития ледниковых и водно-ледниковых отложений северо-запада европейской части СССР. И. В. Кузьмина . . . . .	64																																																																																												
Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в лесо-болотных равнинах Западно-Сибирской низменности. М. Т. Илюшина . . . . .	75																																																																																												
Г л а в а IV. Аэrolандшафтная индикация при инженерно-геологических исследованиях в с semiаридных равнинных районах. Н. П. Назарова . . . . .	85																																																																																												
Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в пределах semiаридных равнин, подвергшихся коренным антропогенным преобразованиям . . . . .	85																																																																																												
Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в пределах semiаридных равнин со значительной сохранностью естественных природно-территориальных комплексов . . . . .	95																																																																																												
Г л а в а V. Аэrolандшафтная индикация при инженерно-геологических исследованиях в аридных регионах . . . . .	99																																																																																												
Типологическое разделение аридных регионов для индикационных целей. С. В. Викторов . . . . .	99																																																																																												
Аэrolандшафтная индикация в песчаных пустынях. А. С. Викторов . . . . .	102																																																																																												
Аэrolандшафтная индикация в супесчано-суглинистых пустынях древних аллювиально-дельтовых равнин. С. В. Викторов . . . . .	107																																																																																												
Аэrolандшафтная индикация в суглинистых и глинистых пустынях останцовых плато и ограничивающих их обрывов (чинков). А. Л. Ревzon . . . . .	108																																																																																												
Аэrolандшафтная индикация в щебнистых и суглинисто-щебнистых пустынях останцовых плато. А. Л. Ревзон . . . . .	112																																																																																												
Аэrolандшафтная индикация в щебнистых и суглинистых пустынях предгорных равнин. С. В. Викторов . . . . .	115																																																																																												
Аэrolандшафтная индикация в солончаковых пустынях. С. В. Викторов . . . . .	117																																																																																												
Аэrolандшафтная индикация в меловых пустынях. С. В. Викторов . . . . .	122																																																																																												
Аэrolандшафтная индикация в полупустынях и северных вариантах пустынь. А. С. Викторов . . . . .	125																																																																																												
Г л а в а VI. Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий в горных районах. А. В. Садов, Л. З. Сискеевич . . . . .	132																																																																																												
Особенности аэrolандшафтной индикации в горах . . . . .	132																																																																																												
Опыт разработки системы ландшафтных индикаторов некоторых инженерно-геологических условий для горной системы Тянь-Шаня	136																																																																																												
Г л а в а VII. Аэrolандшафтная индикация изменения природных условий в связи с мелиорацией . . . . .	146																																																																																												
Основные черты применения аэrolандшафтной индикации на площадях, подвергшихся мелиорации. С. В. Викторов, И. В. Кузьмина . . . . .	146																																																																																												
Некоторые особенности методики исследований при сопутствующей индикации. И. В. Кузьмина . . . . .	155																																																																																												
Г л а в а VIII. Особенности аэrolандшафтной индикации инженерно-геологических условий в зоне действия водохранилищ (при гидроэнергетическом и гидротехническом строительстве). А. Л. Ревзон, А. В. Садов . . . . .	160																																																																																												
Аэrolандшафтная индикация процессов переработки берегов . . . . .	160																																																																																												
Аэrolандшафтная индикация карста и связанных с ним процессов . . . . .	165																																																																																												
Аэrolандшафтная индикация эрозионно-оползневых процессов и подтопления . . . . .	167																																																																																												
Аэrolандшафтная индикация геолого-литологических и структурно-тектонических условий . . . . .	171																																																																																												
Г л а в а IX. Аэrolандшафтная индикация инженерно-геологических условий при различных видах строительства . . . . .	174																																																																																												
Особенности применения аэrolандшафтной индикации при среднемасштабных инженерно-геологических съемках, производимых в связи со строительством. А. В. Садов . . . . .	174																																																																																												
Особенности применения аэrolандшафтной индикации при крупномасштабных изысканиях в связи со строительством. С. В. Викторов . . . . .	178																																																																																												
Г л а в а X. Перспективы использования новых видов дистанционных методов при региональных инженерно-геологических исследованиях . . . . .	181																																																																																												
Космофотосъемка. А. Л. Ревзон, А. В. Садов . . . . .	181																																																																																												
Радиолокационная съемка. В. М. Валях . . . . .	186																																																																																												
Инфракрасная съемка. В. М. Валях, А. В. Садов . . . . .	193																																																																																												
Заключение. А. В. Садов, С. В. Викторов . . . . .	195																																																																																												
Список литературы . . . . .	197																																																																																												
Предметный указатель . . . . .	200																																																																																												

Алексей Васильевич Садов,  
Сергей Васильевич Викторов,  
Ирина Викторовна Кузьмина и др.

АЭРОЛАНДШАФТНО-ИНДИКАЦИОННЫЕ  
МЕТОДЫ  
ПРИ РЕГИОНАЛЬНЫХ  
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЯХ

---

Редактор издательства *Л. Г. Китаенко*  
Переплет художника *Ю. Е. Фомина*  
Художественный редактор *Е. Л. Юрковская*  
Технический редактор *Л. Я. Голова*  
Корректор *Г. Г. Большова*

ИБ № 3318

---

Сдано в набор 04.12.80. Подписано в печать 13.03.81. Т-05634.  
Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага типографская № 1. Гарнитура «Ли-  
тературная». Печать высокая. Усл.-печ. л. 12,75.  
Усл. кр.-отт. 12,75. Уч.-изд. л. 14,53. Тираж 625 экз.  
Заказ 782/7943—2. Цена 1 р. 10 к.

---

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский  
проезд, 1/19

Ленинградская картографическая фабрика ВСЕГЕИ