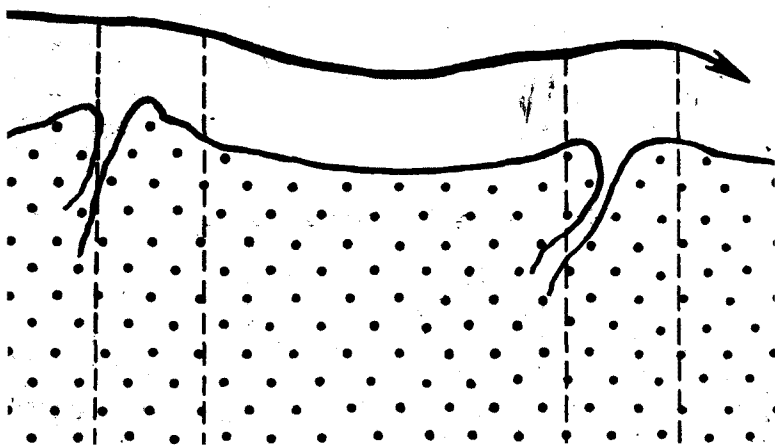




ПРИКЛАДНАЯ ГЕОМОРФОЛОГИЯ

Т. В. ЗВОНКОВА



Т. В. ЗВОНКОВА

ПРИКЛАДНАЯ ГЕОМОРФОЛОГИЯ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебного пособия для студентов географических специальностей университетов

Издательство «Высшая школа»
Москва — 1970



Настоящая книга — первое учебное пособие по курсу прикладной геоморфологии, который читается студентам-геоморфологам географических факультетов университетов. Она посвящена важной и актуальной проблеме — применению данных и методов геоморфологии к решению разнообразных практических задач при проектировании дорог и трубопроводов, гидротехническом строительстве, градостроительстве, землеустройстве, поисках полезных ископаемых и т. д. Издание книги необходимо не только в связи с ростом практического значения геоморфологии и отсутствием соответствующих учебных пособий, но и потому, что в геоморфологической науке заметно усилились тенденции к ее дифференциации.

В книге излагаются лишь основы прикладных геоморфологических исследований и дается общая практическая оценка рельефа, поэтому она служит своего рода введением к изучению цикла специальных дисциплин — геоморфологии россыпей, инженерной геологии, геолого-поискового дела и, конечно, не заменяет их.

Рельеф изучается с различными целями и, естественно, в одной книге нельзя изложить все вопросы, связанные с его практической оценкой. Здесь рассматриваются лишь важнейшие современные области и направления практического применения геоморфологии. При этом освещаются не только вполне решенные вопросы практического изучения рельефа, но и ставятся новые задачи.

Главы учебного пособия, так же как и части читаемого лекционного курса, неравноценны по объему и содержанию. Это объясняется уровнем современного развития геоморфологии и степенью использования ее разделов в различных отраслях хозяйства.

Автор далек от мысли о совершенстве настоящего учебного пособия и примет с благодарностью все замечания и советы.

2—8—2

117—70

Звонкова Татьяна Васильевна

ПРИКЛАДНАЯ ГЕОМОРФОЛОГИЯ

Редактор *Н. А. Соколова*

Переплет художника *Е. М. Малышко*

Художественный редактор *В. П. Бабикина*

Технический редактор *Г. Г. Киселева*

Корректор *Т. И. Щеглова*

Т-01862 Сдано в набор 11/VIII—69 г. Подп. к печати 12/II—70 г.
Формат 84×108¹/₃₂ Объем 8,5 печ. л. 14,28 усл. п. л. Уч.-изд. л. 14,47
Изд. № Е-146 Тираж 5000 экз. Цена 61 коп.

План выпуска литературы издательства «Высшая школа» (вузы и техникумы)
на 1970 г. Позиция № 117.

Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14,

Издательство «Высшая школа»

Московская типография № 8 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР,
Хохловский пер., 7. Зак. 4558.

ОБЪЕКТ, МЕТОДЫ И ГЛАВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Хозяйственная деятельность человека определяется далеко не одними условиями рельефа. Не в меньшей степени на нее влияют горные породы, подземные и поверхностные воды, климат, почвенный и растительный покров, т. е. весь комплекс природных условий. Но в конкретной природной обстановке нередко ведущее значение приобретает рельеф, определяющий главное направление в решении данной хозяйственной задачи.

Объект исследования. Предметом прикладных геоморфологических исследований служат взаимоотношения между рельефом и хозяйственными объектами: телом полезного ископаемого, дорогой, сельскохозяйственным угодьем и т. д. Прикладная геоморфология помогает наиболее рационально использовать рельеф в различных областях хозяйственной деятельности человека. Прикладные геоморфологические исследования проводятся с помощью различных методов, как общенаучных, так и специальных геоморфологических.

Методы исследований. Разнообразные свойства земли не могут быть предметом исследования какой-либо одной науки: географии, геологии, биологии, геоморфологии. Каждая из них пользуется различными методами, которые в то же время имеют много точек соприкосновения. Особенно много общего в методах исследования физической географии и геологии. Соприкосновение

этих наук происходит главным образом при изучении форм земной поверхности, т. е. в области геоморфологии.

Геоморфология занимает промежуточное положение между геологией и географией. Так как рельеф есть результат взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов, то приемы исследования в решении даже самых узких практических задач должны сочетать геологические методы с широким географическим подходом.

Из универсальных общенаучных методов для прикладных геоморфологических исследований особенно важны исторический, генетический, сравнительно-описательный и математический.

Исторический метод позволяет изучать рельеф в его последовательном развитии. Это помогает установить пути дальнейшего преобразования рельефа, знание которых необходимо при проектировании долговременных сооружений, определять значение отдельных факторов в формировании рельефа, установить реликтовые, унаследованные формы рельефа и приуроченные к ним залежи полезных ископаемых. Пользуясь историческим методом, можно также восстановить картину прошлого рельефа: развитие древних долин и сопутствующих им рыхлых отложений, важных и для проектирования гидротехнических сооружений, и для поисков полезных ископаемых.

Генетический метод в изучении рельефа уменьшает число возможных ошибок при оценке существа природных явлений, помогает определить тип хозяйственного мероприятия — тип защитных сооружений против неблагоприятного действия физико-географических процессов, тип конструкций различных сооружений, а также генетический тип месторождения полезного ископаемого, характер генерализации рельефа при его изображении на картах и т. п.

Сравнительно-описательный метод устанавливает различия в проявлении геоморфологических процессов, выявляет факторы, существенно влияющие на исследуемый объект. Этот метод помогает уловить некоторые постоянные соотношения природных явлений и формулировать их в виде общих закономерностей. Все это позволяет определить главное направление в практической оценке рельефа.

Используя количественные (математические) методы — геометрические и кинематические, исследователь получает расчетные данные о геоморфологических явлениях и процессах. С помощью геометрических (морфологических) методов исследуется неподвижный рельеф и даются геометрические и числовые характеристики элементов, форм и типов рельефа — степени их расчлененности, длины, крутизны, формы, объема и т. п. Эти данные необходимы для проектирования инженерных сооружений, например, профилей дорог, устройства противозэрозийных и противоселевых защит, поисков погребенных нефтеносных структур, россыпных месторождений и решения других практических задач.

Кинематические методы позволяют рассматривать рельеф независимо от действующих сил и агентов. Пользуясь кинематическими понятиями о скорости, ускорении, поступательном движении, можно измерять скорость и интенсивность овраго- и селеобразования, скорость движения песков, заиления водохранилищ, формирования склонов и других процессов важного инженерного значения. Кинематические методы составляют основу динамической геоморфологии, рассматривающей развитие рельефа в связи с действующими силами и агентами.

Большое значение в динамической геоморфологии, так же как и при решении различных практических задач, приобретают стационарные исследования и различные виды моделирования (математического, программного, физико-химического). Измерения геоморфологических объектов дают исходный материал для различного рода статистических исследований, помогающих оценить природные связи тех или иных явлений (коэффициент корреляции), выявить главные факторы, исключить ошибки наблюдений.

В геоморфологических работах прикладного назначения широко используется прием площадных коэффициентов, представляющих собой отношение площади развития данного явления к площади изучаемого района (коэффициент закарстованности, коэффициент овражности и т. п.). Этот прием дает представление о степени современного развития явлений.

Количественные методы используются еще очень слабо и введение их в практику исследовательских работ —

одна из ближайших задач геоморфологии. Однако сложность природных процессов заставляет подходить к использованию количественных методов в геоморфологии очень осторожно, тщательно учитывая конкретную естественноисторическую обстановку. Опыт ведения подобных работ показывает, что при помощи математики можно анализировать и систематизировать те сведения о природных явлениях, которые получают в поле, в лаборатории, на стационаре. Но в практике изыскательских работ известно много случаев, когда расчет показывает достаточный коэффициент устойчивости склона, а оползневые подвижки все же продолжаются. Такое расхождение расчета с действительной устойчивостью склона можно объяснить лишь сложностью задачи выражения природных условий в виде формул. Необходимые в этом случае допущения и упрощения иногда настолько искажают суть процесса и его проявление, что сами расчеты теряют свою практическую ценность.

В настоящее время геоморфологическая наука обладает системой собственных методов и приемов исследований. Эти методы, с одной стороны, основаны на связях рельефа с геологическим строением, с другой — на связях его с климатическими, шире — географическими условиями. Методами первой группы — геолого-геоморфологическими — решаются главным образом вопросы возраста рельефа и его развития в прошлом. При этом широко используется коррелятное изучение террас и аллювиальных свит, склонов и склоновых отложений, поверхностей выравнивания и кор выветривания и т. п. Наиболее успешно эти методы применяются в геолого-поисковых исследованиях.

Вторая группа методов — географо-геоморфологические — помогает устанавливать интенсивность геоморфологических процессов, давать их прогноз и чаще используется при изучении рельефа с сельскохозяйственными и инженерными целями. Для этого широко применяются также морфометрические и морфографические приемы исследования*.

Развитию научных исследований способствует соче-

* Подробнее о методах геоморфологических исследований см. статьи А. И. Спиридонова (1954), Н. В. Башениной и С. С. Воскресенского (1955).

тание методов геоморфологии с методами смежных наук — экономики, физики, химии и других.

Физические методы исследования дают возможность определять различные физические константы, т. е. коэффициенты или модули, характеризующие физические свойства процесса рельефообразования: сопротивляемость почвы эрозии при различной крутизне, длине склонов, разном составе пород и покрытии растительностью, ударную силу снежных лавин, несущую способность потока при разных уклонах, формах русла, скоростях течения, загруженности рыхлым материалом.

Химические методы исследования помогают установить закономерности миграции и концентрации химических элементов в разных геоморфологических условиях. Это способствует обнаружению ореолов рассеяния редких полезных ископаемых, эффективному использованию химических удобрений и т. п.

Важное значение в прикладных геоморфологических исследованиях приобретают экономические методы. Экономическая оценка геоморфологических условий должна проводиться при размещении промышленных и сельскохозяйственных объектов, определении типа проекта инженерного сооружения и многих других видах работ.

Необходимость в сочетании методов исследования возникает сейчас при геоморфологических работах для инженерно-геологических изысканий (метод климатической геоморфологии), при поисках современных русловых россыпей (гидрогеоморфологический метод), в нефтепоисковых и инженерно-сейсмических исследованиях (морфоструктурные методы). При сочетании методов смежных наук могут возникнуть новые перспективные отрасли геоморфологии и определиться ее новые возможности.

Выбор метода исследования в каждом случае зависит от области практического применения геоморфологии, но в принципе оценка рельефа должна быть комплексной.

Области практического применения геоморфологии. В практических целях рельеф изучался еще задолго до того, как геоморфология оформилась в самостоятельную науку. Однако серьезные геоморфологические вопросы стали решаться лишь с конца XIX и начала XX в. в связи с развитием в России промышленного, транспортного,

гидротехнического строительства. Знакомство с материалами прошлых лет показывает, что рельеф изучался тогда в комплексе географических работ для сельскохозяйственных целей (В. В. Докучаев, 1892; А. С. Қозменко, 1913 и др.), а также при инженерно-геологических изысканиях трасс железных дорог (В. А. Обручев, 1890; А. П. Павлов, 1903; И. В. Мушкетов, 1904—1910 и др.). Эти работы не потеряли своего значения до настоящего времени.

В отличие от многих зарубежных геоморфологических школ советская геоморфология развивается на базе многих отраслей народного хозяйства. Быстрый послереволюционный рост промышленности и сельского хозяйства обусловил широкое применение геоморфологии в геологопоисковом и строительном деле, сельском хозяйстве, картографии. Значительно разнообразнее геоморфологические данные стали использоваться в нашей стране в годы первых пятилеток, когда остро встал вопрос о возможных изменениях поверхности, на которой возводились сложные сооружения Волховской и Днепровской ГЭС, Волго-Донского канала, Прибалхашского комбината, Байкало-Амурской магистрали. Необходимость изучения рельефа и образующих его процессов при такого рода строительствах стала особенно ясной после крупных разрушений, вызванных недоучетом природных условий. Анализ причин разрушений показал, что во многих случаях они были вызваны не только недостаточным знанием свойств горных пород, но и недооценкой в одних случаях особенностей коренного погребенного рельефа, на котором обычно располагаются тяжелые бетонные сооружения, в других — закономерностей развития и распространения рельефообразующих процессов.

Следует признать, что геоморфология не сразу была признана практически необходимой наукой. Это объясняется тем, что, не имея почти никакой теоретической базы и не владея солидными научными методами, геоморфологи стали вводить в практику преимущественно описательные методы, что отрицательно сказалось на практическом применении геоморфологии. Лишь годы совместной работы геоморфологов с геологами, инженерами, мелиораторами, землеустроителями, картографами обогатили геоморфологию и изменили прежнее понимание ее задач.

Особенно интенсивно геоморфология стала использоваться после второй мировой войны, когда решение крупных комплексных народнохозяйственных проблем создало благоприятную почву для творческого развития пограничных наук, к которым относится и геоморфология. В настоящее время она превратилась в науку широкого практического применения.

В основу настоящей книги положена известная концепция о положении рельефа между сферами действия эндогенных и экзогенных сил, пограничном положении геоморфологии и возможностях ее применения как в геологических, так и в географических исследованиях. Именно в этих направлениях геоморфологические данные и используются сейчас, причем иногда в областях, казалось бы, далеких от геоморфологии. Кроме известных старых областей — геологопоискового дела, картографического и сельскохозяйственного производства, инженерно-изыскательских работ, некоторые геоморфологические вопросы стали изучаться при проектировании нефте- и газопроводов, линий электропередач и кабелей, при оценке проходимости различных видов транспорта и качества сельскохозяйственных угодий и т. п.

Практическое направление советских геоморфологических исследований все более завоевывает признание за рубежом. В Польше, Чехословакии, Венгрии и других социалистических странах в связи с большим объемом нового строительства успешно развиваются урбанистское и сельскохозяйственное направления прикладных исследований. Разносторонние геоморфологические работы проводят французские географы в Колумбии, Тунисе, Сенегале, Судане в связи со строительством железных дорог, а также в своей стране по проблемам туристской и сельской географии, районных планировок (Ж. Трикар, М. Флиппоно, Ж. Сотер, Б. Кайзер и др.).

В США геоморфология используется главным образом для нужд геологии — поисков полезных ископаемых, а также в области коммерческой географии. В Японии геоморфологические данные привлекаются для решения различных вопросов сельскохозяйственной оценки и мелиорации земель, для чего составляются геоморфологические карты уклонов, типов рельефа, оценки земель.

Следует также отметить работы английских и канадских географов по качественной оценке земель, район-

ным планировкам, норвежских географов — по портостроению (Стэмп, Виллетс, Хансен); бельгийских географов — по укрупнению землепользования, районным планировкам, разработкам проектов развития промышленных районов страны, туристской географии (О. Тюлипп, Х. Христианс и др.).

Только очень хорошая и широкая теоретическая подготовка по геоморфологии, географии, геологии, техническим и экономическим дисциплинам может позволить молодым геоморфологам браться за столь обширный круг практических исследовательских задач.

Главные направления исследований. Широта применения, обилие и разнообразие вопросов, решаемых геоморфологическими методами, делают необходимым выделение главных направлений прикладных геоморфологических исследований. К числу их можно отнести изучение системы взаимосвязей и выявление показателей между рельефом и хозяйственным объектом; определение оптимальных геоморфологических условий для решения различных хозяйственных задач; определение по геоморфологическим данным технических условий решения практических задач; изучение влияния географической среды на изменение оптимальных геоморфологических условий и показателей связей; разработка систем геоморфологического расчета и экономического выражения геоморфологических данных; разработка методов инженерно-геоморфологического прогноза; создание системы информации и регистрации прикладных геоморфологических материалов.

Работа по этим направлениям проводится сейчас без должной системы, перспективного плана и находится еще в состоянии сбора фактов. Содержание этих исследований можно изложить сейчас лишь в общей форме, не претендующей на окончательность и полноту.

Изучение системы взаимодействия и выявления показателей между рельефом и хозяйственным объектом — одно из важнейших и сложных направлений исследований. Оно состоит в определении тех связей, которые существуют между одним из элементов мертвой природы — рельефом и инженерным объектом (дороги, плотины, каналы, города), рельефом и природными ресурсами (минеральное сырье, земля, вода и т. п.). Эти взаимодействия осуществляются через систему связей,

которые можно характеризовать простыми показателями. Например, взаимоотношения между рельефом и полотном дороги можно выразить густотой и глубиной расчленения рельефа, средними уклонами местности, которые определяют профиль и план дороги, высоту насыпей и глубину выемок, объем земляных работ, тип землеройных машин и другие технико-экономические данные. Анализ размеров и рисунка форм рельефа, их развития и происхождения приобретает в таких случаях практический аспект.

Оптимальные геоморфологические условия — это условия, при которых естественный рельеф наиболее полно отвечает техническим требованиям. Можно говорить об оптимальности рельефа по отношению к промышленным и гражданским сооружениям, размещению сельскохозяйственных культур, залежам полезных ископаемых и т. п.

Если таких условий нет, то человеку приходится создавать их, формируя искусственный «инженерный ландшафт», в частности выемки, насыпи, террасированные склоны и т. п. В этом случае важно оценить естественный ландшафт как с точки зрения заимствования у природы наиболее рациональных для практики особенностей строения, так и развития рельефа. Например, известно, что при проектировании шоссейных дорог в песчаных пустынях профилю земляного полотна придают обтекаемую форму, подобную сглаженным формам эолового рельефа. Откосам насыпей придают углы, сходные с углами естественных форм барханов и гряд. Но непосредственная задача исследования все же состоит в нахождении параметров, рубежей, которые определяют оптимальные пределы показателей. Например, в земледельческих районах для распахки наиболее рациональны склоны с углами от 1 до 4—5°, так как при больших углах начинается эрозия почвы, увеличивается расход горючего при обработке земель, а при меньших углах затрудняется отток грунтовых вод. Определение оптимальных показателей опирается не столько на качественные, сколько на количественные данные.

Необходимы исследования и для определения по геоморфологическим данным технических условий решения различных практических задач. Эти исследования основаны на принципе обратных связей между рельефом и техническим объектом. Можно говорить об определении

по геоморфологическим данным инженерно-геологических условий строительства. В этом случае особо важное значение приобретают морфометрические характеристики рельефа, которые дают возможность определять по ним кровлю коренных пород, глубину и сплошность зеркала грунтовых вод и т. п. По морфологии карстовых форм судят об их возрасте, а следовательно, степени интенсивности и опасности для инженерных сооружений. Таким образом, в этих случаях рельеф выступает как индикатор инженерно-геологических условий.

При решении некоторых геологопоисковых задач, особенно при поисках месторождений экзогенного класса, рельеф оценивается как критерий возможности образования и сохранения залежей полезных ископаемых. Определение по рельефу некоторых технических данных возможно лишь при существовании устойчивых, закономерно повторяющихся природных признаков, так как лишь в этом случае выводы достаточно надежны.

Широко известно влияние географической среды на ее частные компоненты, в том числе на рельеф. Выявить это можно, если рассматривать влияние разных типов географической среды на одни и те же формы и элементы рельефа. Наиболее существенные технико-геоморфологические различия проявляются в свойствах горных пород и режиме геоморфологических процессов при переходе из одной географической зоны в другую. Поэтому в технических указаниях по проектированию различных сооружений и содержатся разделы по возведению сооружений главным образом в разных географических зонах. На меньших площадях чаще и сильнее сказывается обратное влияние рельефа на другие компоненты ландшафта. Влияние географической среды необходимо учитывать как при определении системы связей и показателей, так и установлении оптимальных геоморфологических условий.

Одно из самых нужных, но совсем не разработанных направлений исследований — система оценки и экономического выражения геоморфологических условий. Задача исследования состоит в определении сравнительной и абсолютной стоимости (в рублях) производства работ в разных геоморфологических условиях. Один из наиболее простых рабочих приемов такой оценки — определение коэффициента «сложности рельефа» в пределах гео-

морфологически однородного района. Для этого проще использовать морфометрические данные о тех формах рельефа, которые вызывают удорожание стоимости производства земляных работ. Естественно, что покิโลметровая стоимость и сложность работ по укладке полотна дороги в грядовых песках будет больше, чем на песчаной равнине или щебнистом плато. Инженерно-геоморфологическая оценка района приобретает в этом случае стоимостное выражение.

Одно из важнейших для успешного развития инженерной геоморфологии, но не разработанных направлений исследований — геоморфологическое прогнозирование. Методом прогнозов восстанавливают как прошлые геоморфологические условия, например, для выявления закономерностей размещения экзогенных полезных ископаемых, так и определяют будущее развитие территории, например, в отношении ее устойчивости после возведения инженерных объектов.

Основные факторы прогнозных расчетов — пространство и время. Последнее рассматривается как независимая величина, а все другие природные факторы — как зависимые переменные от времени и многих других природных, технических и экономических величин. Для практических целей особое значение приобретает количественное прогнозирование природных явлений и процессов (скорости, площади развития). В данном случае эта задача усложняется необходимостью учета не только прошлых, настоящих и будущих геоморфологических условий, но и влияния на них инженерных сооружений.

К очень слабо разработанным вопросам относится также система регистрации и информации прикладных геоморфологических данных. Один из возможных и важных путей его решения — составление специальных прикладных геоморфологических карт.

В принципе прикладные геоморфологические карты состоят из трех основных частей: научной геоморфологической основы, аналитических геоморфологических данных, определяющих решение данной практической задачи, и сетки геоморфологических районов по условиям решения основной практической задачи. По назначению можно выделить две основные группы прикладных геоморфологических карт: обзорные, или общие, и узкоприкладные, или специальные, карты.

Обзорные прикладные карты составляются при всестороннем освоении территории и обычно рассчитаны на удовлетворение нужд нескольких народнохозяйственных отраслей с общими требованиями к рельефу. В большинстве случаев это мелко- и среднемасштабные карты районирования, основанные на типизации и объединении идентичных геоморфологических условий. Они призваны уточнять характер и объем хозяйственных мероприятий. В зависимости от размеров территории на таких картах можно выделить зоны, регионы, области, районы и участки. Основные признаки выделения таксономических единиц следующие: географический — для зон, морфотектонический — для регионов, морфогенетический — для областей, характер малых форм рельефа — для районов, интенсивность физико-географических процессов — для участков.

Обзорные геоморфологические карты часто не имеют самостоятельного значения. Они составляются для решения крупных комплексных хозяйственных проблем, что требует не только знания условий рельефа, но и всего комплекса естественноисторических и экономических факторов. Такие карты чаще всего имеют подсобное значение для составления комплексных карт природных условий хозяйственного освоения территории.

Узкоприкладные карты предназначаются для решения разнообразных частных хозяйственных вопросов. По содержанию они аналитические, так как отражают распространение на местности деталей, элементов рельефа, имеющих значение лишь для одной, редко двух хозяйственных отраслей или объектов. Необходимость изображения деталей рельефа обуславливает их крупный масштаб и соответственно небольшие размеры картографируемой территории.

Конкретное содержание прикладных карт определяется их назначением, стадией проектирования хозяйственных работ и масштабом карты.

Значение прикладных геоморфологических исследований для теории геоморфологии и практики советской географии. Применение геоморфологии в различных отраслях народного хозяйства во многом способствовало развитию ее теории. Для правильной перспективной оценки территории на россыпи алмазов, золота и организации поисковых работ нужно было изучить работу

реки, механизм образования террас, процессы выравнивания рельефа. Участие геоморфологов в поисковых работах на нефть и газ способствовало укреплению связей геоморфологии с геологией, геофизикой, геохимией и утверждению новых перспективных направлений — структурно-геоморфологического и палеогеоморфологического. Широкие планы сельскохозяйственного освоения и картографирования пустынь потребовали не только выяснения происхождения их рельефа, но и знания механизма образования песчаных форм рельефа, их классификации. Практическая работа по оценке устойчивости строительных площадок способствовала разработке количественных оценок рельефа и изучению процессов формирования склонов.

Но следует признать, что быстрое и правильное решение многих практических вопросов сочетается с неразработанностью ряда теоретических положений. До настоящего времени слабо разработана теория развития русловых форм рельефа, что затрудняет установление закономерностей формирования и концентрации русловых россыпей; нет четких геоморфологических приемов изучения погребенного и реконструируемого рельефа, возраста рельефа, что осложняет выявление геоморфологических поисковых критериев и признаков. Еще только началась разработка количественных методов оценок рельефа. Не созданы классификации типов рельефа, необходимые в сельском хозяйстве и картографии.

Широкому применению геоморфологии в различных отраслях народного хозяйства способствовало ее совместное развитие с географической наукой. Вместе с тем развитие прикладных геоморфологических исследований облегчило проникновение в практику народного хозяйства многих положений географической науки. Для решения практических вопросов чаще всего необходим учет всего комплекса природных условий, их взаимных связей, региональных и зональных особенностей. Но отразить всю сумму природных факторов в форме, доступной для практического использования, очень трудно. Основным выразителем комплекса природных условий может служить рельеф, который и составляет основу большинства карт инженерного значения (инженерно-геологических, агромелиоративных, почвенных и др.). Такое использование рельефа возможно лишь при подходе к нему как

к компоненту ландшафта, находящемуся во взаимодействии и зависимости от других природных факторов.

Признание такой роли рельефа значительно повысило интересы практических работников и к другим отраслям географической науки. Например, в инженерной геологии появилось новое региональное направление, одна из задач которого состоит в выявлении ландшафтных факторов и их инженерно-геологического значения для задач строительства. В поисково-разведочном деле шире стали применяться методы поисков, основанные на изучении взаимных связей нескольких компонентов ландшафта (гидрогеоморфологический метод при поисках современных русловых россыпей, почвенно-ботанический метод при поисках полиметаллов, нефти, газа, геоботанический при поисках грунтовых вод и т. д.). Большое внимание уделяется сейчас местным географическим особенностям и взаимосвязям природных элементов в землеустроительном проектировании. При составлении общих географических карт изучают зависимости распространения природных элементов — границ лесов, снеговой границы — от геоморфологических особенностей местности. Использование в картографии геоморфологических данных способствовало также совершенствованию методов географической генерализации.

• Развитие прикладных геоморфологических исследований и в дальнейшем будет способствовать проникновению географических идей и принципов научных исследований в практику народного хозяйства.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПОИСКАХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Значительные успехи в изучении геологического строения земной коры были достигнуты благодаря применению новых методов исследований, в том числе геоморфологических. Роль рельефа в образовании полезных ископаемых отмечалась еще во времена М. В. Ломоносова, который в 1763 г. писал о том, что на положение рудных жил в горах могут указывать некоторые формы рельефа. В наше время А. Д. Архангельский и И. П. Герасимов установили связь между крупными геоструктурными и морфогенетическими элементами земной поверхности; В. А. Обручев увязывал эпохи образования эндогенных и экзогенных месторождений с эпохами горообразования и длительной денудации; А. Е. Ферсман в учении о геохимических концентратах на конкретных примерах показал связь между процессами эрозии и закономерностями распространения рудных тел глубинного происхождения; И. М. Губкин сделал попытку установить закон распределения нефтяных месторождений в связи с основными орографическими элементами земной поверхности; П. И. Степанов отметил связь древнего угленакпления с береговыми зонами континентов; Н. М. Страхов обосновал связь железных руд выветривания, а Ю. А. Билибин — россыпных месторождений с эволюцией рельефа.

Действительно, процессы образования, сохранения или естественного уничтожения многих месторождений теснейшим образом связаны с процессами развития ре-

льефа. Месторождения полезных ископаемых и рельеф образуются под воздействием одних и тех же факторов — эндогенных и экзогенных сил в процессе их взаимодействия. Эндогенные силы создают крупные неровности земной поверхности и коренные рудные месторождения, т. е. тектонический рельеф и эндогенные месторождения полезных ископаемых. Экзогенные силы разрушают рельеф и первичные рудные месторождения, созданные внутренними силами земли. Эти силы формируют эрозионно-аккумулятивный рельеф и вторичные экзогенные месторождения. Последние особенно тесно связаны с развитием рельефа и поэтому чаще всего служат объектом изучения для геоморфологов.

Образование экзогенных месторождений и формирование рельефа в приповерхностной зоне подчиняются общим законам. Эта зона представляет одновременно зону и рельефо-, и осадкообразования. Нижней границей зоны служит уровень грунтовых вод, верхней — граница тропосферы, выше которой рельеф не влияет на воздушные течения. Здесь характерны глубокие взаимосвязи между рельефом поверхности, корой выветривания, грунтовыми водами, климатом приповерхностных частей атмосферы. При этом рельеф наиболее важен в этом комплексе, так как он представляет границу физически различных сред и определяет конфигурацию приповерхностной зоны. В то же время, испытывая влияние двух сред, сам рельеф постепенно преобразовывается. Эти изменения ведут к перемещению и перераспределению минеральных масс, изменению их состава, мощности, структуры, скорости накопления. На значение приповерхностной зоны земли для образования залежей полезных ископаемых указывал В. И. Вернадский (1934). Он писал, что «при изучении явлений, связанных с рудным делом, нас должна интересовать самая верхняя часть земной коры, биосфера».

Глубокие генетические связи между рельефом и образованием осадков, в том числе экзогенных месторождений, обуславливают появление между ними внешних закономерных связей. Даже при самом поверхностном знакомстве с картой распространения полезных ископаемых можно убедиться в том, что большинство угольных и нефтяных месторождений приурочено к окраинам горных систем и древней береговой полосе континентов.

Многие гипергенные месторождения — никеля, марганца, железа и других полезных ископаемых — приурочены к древним поверхностям денудации, россыпные месторождения — к долинам рек, а крупнейшие месторождения марганца — к полосе морского мелководья. Десятки примеров приуроченности многих месторождений к небольшим западинам, котловинам, карстовым воронкам, холмам, буграм также свидетельствуют о связи полезного ископаемого с рельефом. Вместе с тем известно, что многие залежи полезных ископаемых, проявляясь на поверхности земли, образуют разнообразные и лишь им присущие формы рельефа.

Эти естественные взаимные связи показаны в существующих классификациях месторождений полезных ископаемых поверхностного происхождения. Классификации обычно отражают способ и условия образования этих месторождений, т. е. основаны на процессах выветривания и месте образования рудных и минеральных месторождений.

Глубокие взаимосвязи между рельефом поверхности и залежами полезных ископаемых дают теоретическое основание для применения геоморфологического метода в геологопоисковом деле.

ГЛАВНЫЕ ФАКТОРЫ ОБРАЗОВАНИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

При существовании источников рудных компонентов возможность образования и закономерности размещения залежей экзогенных полезных ископаемых на больших территориях определяются геотектоническими и климатическими условиями. Реальным выражением геотектонического и климатического процессов служит рельеф, который позволяет судить об их режиме и роли в осадкообразовании (рис. 1).

Общий процесс осадкообразования может протекать в условиях различного режима тектонических движений, но для образования залежей полезных ископаемых необходим особый геотектонический режим, соизмеримый с режимом денудационных процессов. Только в случае соответствия скоростей тектонического поднятия и денудации в течение длительного времени может образо-

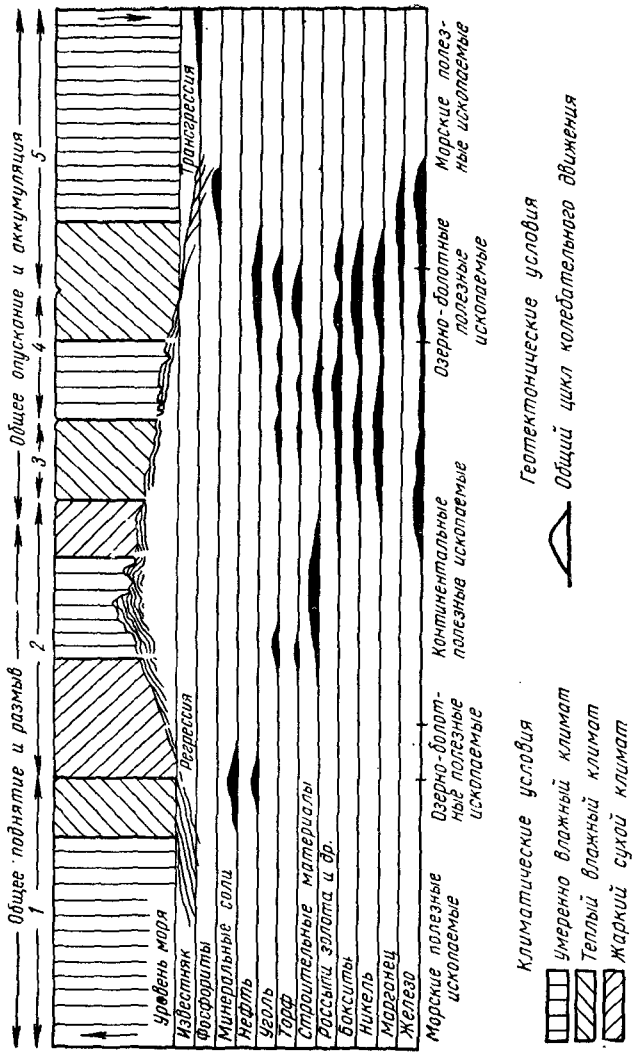


Рис. 1. Схема геоморфологического выражения общих факторов образования экзогенных рельефов, 2 — эрозионный рельеф, 3 — денудационно-аккумулятивный рельеф, 4 — эрозионно-аккумулятивный рельеф, 5 — абразионно-аккумулятивный рельеф (по Т. В. Звонковой, 1959):

ваться плоский равнинный рельеф: при поднятии — денудационные поверхности с корой выветривания, а при опускании — аллювиальные равнины с мощной толщей рыхлых отложений. В период выравнивания рельефа и образования коры выветривания ведущее значение принадлежит экзогенным процессам — химическому и органическому выветриванию, плоскостному смыву, процессам покровной аккумуляции. Именно широкое развитие экзогенных процессов и ослабление или прекращение тектонической деятельности определяют образование важнейших остаточных и осадочных месторождений.

Следует отметить, что и в этот период относительно тектонического покоя и плоскостной денудации оптимальный для рудообразования тектонический режим создается в областях медленного прогибания на отметках, близких к уровню моря. На таких территориях возможно неоднократное отложение и захоронение руд. Так как в это время рельеф суши снижается, то залежи руд будут концентрироваться в основании рыхлой толщи, закономерно меняющей свой состав от крупнозернистых до мелкозернистых фракций в верхней части разреза.

Очень важен вопрос о соотношении тектонических и экзогенных факторов для образования угольных месторождений. Многочисленные факты свидетельствуют о том, что при значительной скорости тектонических движений в угольных месторождениях происходит ряд существенных изменений: увеличивается общая мощность угленосной толщи и мощность пластов на глубине по падению свиты, одновременно расщепляются угольные пласты и уменьшается суммарная мощность плачек чистого угля, появляются признаки аллохтонии и повышенной зольности, угли часто замещаются углистыми сланцами.

Увеличение скорости тектонических движений в случае прогибания территории угленакопления приводит к обводнению и заносу торфяников, а в случае подъема — к их осушению, окислению и размыву. Все это прекращает торфонакопление.

Неблагоприятно и преобладание скоростей экзогенных процессов над тектоническими, что отражается на свойствах самих углей: в них появляются выветрелые пласты. Это свидетельствует об избыточной компенсации опускания торфонакоплением, что приводит к субаэральным воздействиям на верхнюю часть торфяника

(пласты угля Харанорского месторождения в Забайкалье).

Таким образом, для накопления мощной угленосной свиты важно, чтобы скорость опускания земной коры была не больше скорости накопления растительного материала, образующего уголь, т. е. накопление органической массы должно успевать компенсировать тектоническое опускание. Такое накопление растительного материала может происходить в торфяных болотах в том случае, когда грунтовые воды совпадают с поверхностью земли, что характерно лишь для выровненного пенепленизированного рельефа.

Соразмерность тектонических движений, процессов эрозии и окисления благоприятно сказывается на формировании в сульфидных месторождениях мощных промышленных зон вторичного обогащения. Именно устойчивостью рельефа на протяжении длительного времени в сочетании с благоприятными температурой и влажностью можно объяснить хорошую проработанность зон окисления и выщелачивания в месторождениях Центрального Казахстана. Об устойчивости рельефа в период формирования зоны окисления может свидетельствовать относительно резкая граница сульфидных руд и руд зоны окисления, а также довольно выдержанная граница зоны интенсивного выщелачивания, наблюдающаяся в месторождениях Казахстана.

Климатический фактор, так же как и тектонический, принимает участие во всех стадиях осадочного рудообразования — в разрушении коренных пород, выносе, переносе и отложении полезных компонентов. Широко известно значение климата в зональном распределении осадков (см. стр. 26). Это влияние осуществляется преимущественно через соотношение тепла и влаги, которые нередко корректируются местными особенностями рельефа. Действие климата на формирование осадков морских бассейнов ослабевает и осуществляется главным образом через температуру. Этим объясняется выдержанность осадков некоторых морских фаций на значительном протяжении и их неполная согласованность с климатическими зонами.

Роль ведущих факторов в развитии экзогенных месторождений неодинакова на разных стадиях процесса рудообразования. Первая стадия — образование корен-

ных источников руд — сопровождается тектоническим подъемом и появлением горного рельефа. Оптимальные величины поднятия различны для разных ископаемых, но в целом, по мнению Д. Г. Сапожникова (1961), не превышают 1000 м над уровнем моря. При этом благоприятны относительные превышения рельефа не более 200—400 м. В эту стадию рудообразования роль климата на суше незначительна, но значительно важнее для областей морских и озерных бассейнов, из вод которых выделяются соли и рудные компоненты.

Вторая стадия — выветривание и разрушение материнских рудовмещающих пород на фоне общего снижения рельефа и относительно стабильного тектонического режима с небольшими движениями отрицательного знака. Оптимальные климатические условия — умеренно влажный и влажный жаркий климат.

Третья стадия — вынос полезных, обычно более тяжелых компонентов из материнских пород, начиная с наиболее подвижных элементов. После выноса инертных компонентов на месте материнской породы сохраняются лишь остаточные образования из устойчивых минералов. Процесс выноса полезных компонентов активизируется небольшими положительными тектоническими движениями в районах поднятий, особенно если они происходят в условиях влажного климата и рельефа средней степени расчленения.

Четвертая стадия — отложение экзогенных полезных ископаемых и их концентрация. Оптимальные условия для этого создаются в областях тектонических прогибов и отрицательного рельефа, где аккумулируется рыхлый материал и захороняются месторождения.

Вполне естественны также различия в значении главных факторов экзогенного рудообразования для генетически разных полезных ископаемых. Из климатических факторов для угленакопления наиболее важны температура и влажность воздуха, а для образования нефти — температура воды, ее соленость, морские течения. Если колебательные движения, вызывающие смену морских условий континентальными, благоприятны для образования залежей угля, то подобные движения не способствуют сохранности нефтематеринских и нефтемещающих пород. Перекрытие этих пород непроницаемыми осадка-

ми возможно лишь в условиях продолжительного погружения седиментационного бассейна.

Наиболее стабильно в этом случае значение рельефа, так как оптимальная обстановка для рудонакопления большинства месторождений экзогенного класса создается в условиях его пенепленизации.

Одно из важнейших отличий осадочного рудообразования от образования осадочных пород состоит в высокой степени дифференциации минерального вещества на протяжении всего хода этого процесса. Эта дифференциация, приводящая к резкому обогащению рыхлой толщи полезными компонентами, в значительной степени обусловлена процессами эрозии. По своему значению для образования и преобразования залежей полезных ископаемых эрозия не уступает климатическому и тектоническому факторам.

Процессы эрозии относятся к числу постоянных, повсеместно действующих факторов образования осадков, и в своем режиме они неразрывно связаны с тектоническими движениями так же, как и с условиями географической среды. Наравне с геохимическими процессами они создают все разнообразие полезных ископаемых на земле, и только вследствие эрозии многие из месторождений доступны для изучения и эксплуатации. В процессе эрозии перерабатываются огромные массы свежих горных пород, при этом приповерхностная зона земли обогащается ценными вторичными металлическими и минеральными соединениями. В процессе эрозионно-аккумулятивной деятельности рек залежи полезных ископаемых могут зарождаться, обогащаться или уничтожаться. Образование месторождений возможно в русле реки и на пойме в виде скоплений валунов, галечников, песка, глин (строительные материалы), россыпей золота, алмазов, бокситов, редких металлов, а также залежей каустобиолитов (нефть, уголь). Эти полезные ископаемые возникают одновременно с отложениями русла и одновозрастны с ними. Их называют аллювиальными (аллювиальный тип угленакопления, аллювиальные россыпи, шнурковые залежи нефти, речные железные руды).

Месторождения, промышленно бедные в коренном залегании, после размыва и переотложения нередко обогащаются в россыпях (алмазы, золото, кварцевые пес-

ки). Но длительный и сильный эрозионный размыв обедняет и уничтожает месторождения.

Наибольшее влияние эрозионные процессы оказывают на формирование и распределение таких пластовых залежей, как уголь, марганец, фосфориты. Возможны три типичных случая эрозионных размывов пластовых месторождений*: 1) размыв и образование неровной эрозионной поверхности до отложения на ней залежи полезного ископаемого, при этом эрозионное происхождение подстилающего рельефа часто определяет соответствующий генетический тип месторождения, форму и мощность залежи; 2) эрозионный размыв, идущий одновременно с накоплением залежи и рыхлыми отложениями реки (сингенетический, или внутриформационный размыв); 3) размыв пластовой залежи после ее отложения; по отношению к размываемому пласту такой размыв будет внешним — эпигенетическим.

Значительно преобразованы эрозионными процессами Криворожские залежи железных руд. Размывы разной силы и возраста определили здесь площади и мощности рудоносных пород и рудных залежей, сохранившихся от размыва; степень смытости промышленного горизонта железистых руд; возможности вторичной концентрации железистого материала в надрудной толще и коре выветривания; сохранность древней коры выветривания.

Известна огромная роль размывов в формировании Чиатурского марганцевого месторождения, две трети площади которого уничтожены процессами эрозии. Колоссальную работу по сносу угленосных нижнекарбонových отложений со времени верхнего палеозоя проделали реки Урала. В результате их размывающей деятельности угленосные отложения, имевшие, по-видимому, широкое региональное распространение, сохранились лишь в сравнительно небольших понижениях рельефа.

Эпигенетические размывы угольных пластов относятся к числу основных факторов, влияющих на строение Кизеловской угленосной толщи. Все четыре углесодержащие свиты Кизеловского района глубоко размывы и на значительных пространствах уничтожены. Особенно

* Кроме эрозионного размыва, в геологоразведочной практике приходится встречаться с менее распространенными размывами — трансгрессивными при наступлении моря и выпихиванием пластов надвигающимися ледниками.

сильно размыва третья, основная углесодержащая свита. Отложения ее в некоторых местах промыты на всю их мощность. Только установив направление стока, глубину вреза и боковое перемещение древних рек, удалось воссоздать картину расположения углесодержащих свит на различных горизонтах Кизеловской угленосной толщи. Пласты углей, размываемые древними реками, иногда принимают за генетически выклинивающиеся линзообразные залежи или залежи с пластами, расщепленными колебательными тектоническими движениями. Все это понижает оценку месторождения и неправильно ориентирует геолога в вопросах его разработки.

Значение эрозионных процессов для образования экзогенных месторождений определяется: их большой ролью в механизме формирования этого типа месторождений; чуткой реакцией водного потока на изменение общих факторов осадкообразования — режима колебательных движений и климата, благодаря чему процессы эрозии и эрозионная поверхность становятся их главными реальными выразителями; четкостью и устойчивостью эрозионных форм, что в большинстве случаев позволяет восстанавливать по ним давно законченные процессы.

Помимо факторов, которые имеют общее значение для образования всех экзогенных полезных ископаемых, совершенно необходимо учитывать местные факторы: рельеф, горные породы, тектонические структуры, растительность, химизм вод, течения и т. п. Создавая свою местную среду, эти факторы нередко приобретают решающее значение в формировании месторождений и определении условий их залегания.

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Исследования последних лет показывают, что одна из важнейших проблем современной геологии — проблема закономерностей размещения полезных ископаемых — не может быть решена не только без учета закономерностей развития физико-географической среды, но и без методов, свойственных географии. К сожалению, не только в географии вообще, но и в геоморфологии разработка этой проблемы находится в стадии регистрации фактов

и установления самых общих закономерностей. В настоящее время фактический материал позволяет устанавливать закономерную приуроченность экзогенных полезных ископаемых к географическим и геоморфологическим зонам, определенным типам физико-географических сред и формам рельефа.

Ведущая роль климата в экзогенном рудообразовании определяет приуроченность месторождений полезных ископаемых к определенным географическим зонам прошлых и настоящей геологических эпох. Эта зональная приуроченность месторождений определяется главным образом различиями в соотношении тепла и влаги в разных географических зонах. Н. М. Страхов (1956) установил четыре основных типа осадочного породообразования, объединенных общими условиями соотношения тепла и влаги: гумидное, аридное, ледовое и эффузионно-осадочное*.

В условиях высоких температур, постоянного увлажнения и обилия органических веществ гумидных зон активны процессы химического выветривания, способствующие интенсивному разрушению коренных месторождений. За счет разложения и выноса органических соединений в коре выветривания, грунтовых водах создается кислая реакция, интенсивность которой ослабевает при переходе к более умеренным климатическим условиям. На обширных равнинах этих климатических зон формируются коры выветривания с ярко выраженной зонально-географической локализацией в виде двух крупных полос — подзолисто-таежной зоны умеренного пояса (равнины европейской части и Западной Сибири) и зоны влажных тропических лесов с очень мощной корой выветривания. В благоприятной палеоклиматической обстановке этих зон формировались элювиальные россыпи устойчивых минералов, каолиновые глины, кварцевые пески, угли, горючие сланцы, а также высокие концентрации руд алюминия, кобальта, железа, марганца и других полезных ископаемых.

Осадкообразование аридного типа — сложный процесс, происходящий при повышенных температурах и

* Роль климатических условий и географической зональности в развитии геологических процессов детально рассматривается в работах Н. М. Страхова (1960, 1963).

минимуме осадков. В этих условиях ослабевают биологические и замедляются химические процессы, возрастает значение физико-химических процессов, особенно осолонения. Преобладание процессов физического выветривания и действия временных потоков обуславливает механическую дезинтеграцию осадков. В противоположность гумидному осадкообразованию в условиях щелочной среды аридной зоны резко ослабевает миграционная способность ряда элементов, например железа, алюминия. Наоборот, уран, ванадий, медь не прекращают миграции в водах, и в условиях непромывного режима почво-грунтов для них характерны процессы вытяжки на поверхность. О приуроченности урановых месторождений осадочного генезиса к аридной зоне свидетельствует концентрация их на участках континентов, где в различные геологические периоды господствовал сухой климат. Такие территории свойственны центральным частям материков, удаленным от океана и отделенным от него горами (плато Колорадо и месторождения урана в его долинах). Несмотря на хорошую сохранность кор выветривания в восточных штатах Америки, господство здесь влажного и теплого климата, химического выветривания и приповерхностного выщелачивания не способствует формированию в современных географических условиях крупных месторождений урановых руд.

Помимо этих руд, для аридной зоны свойственны делювиальные россыпи, медистые песчаники, гипс, калийные соли, месторождения боратов и брома.

Ледовый тип осадкообразования протекает в условиях длительного существования ледового покрова и, следовательно, низких температур и деятельности воды в твердом состоянии. В это время резко ослаблены процессы химического выветривания и осаждения веществ из раствора, а также жизнедеятельность организмов. Образующиеся здесь осадки примитивны и механически почти не дифференцированы. За исключением строительных материалов в них нет ценных ископаемых.

Эффузивно-осадочное осадкообразование приурочено к площадям вулканических извержений и поэтому является интразональным. В эффузивно-осадочных отложениях скапливаются кремнезем в виде яшм и кремнистых сланцев, а также железные и марганцевые руды.

Целесообразно выделить еще один тип осадкообразования — субполярный. Осадкообразование протекает здесь в условиях частичного разложения органических веществ, кислой реакции и химического выветривания умеренной силы. Велика роль термоденудации и солифлюкции. Для этого типа осадкообразования очень характерны месторождения минеральных и металлических россыпей. В южных частях зоны, где уровень грунтовых вод неглубок и им свойствен застойный характер, формируются крупные залежи сапропеля и торфяников.

Такая главным образом зональная дифференциация осадков и рудообразования, по мнению Н. М. Страхова, существовала с древнейших доступных нам времен истории Земли.

Изучая вопросы географической зональности месторождений полезных ископаемых, необходимо рассматривать их в разных аспектах пространственного и временного соотношения осадочного рудообразования и географических зон.

Рассмотрим приуроченность экзогенных месторождений к определенным географическим зонам. Эта приуроченность выявлена для месторождений нефти, угля, бокситов, железа, россыпей, солей, торфа и других полезных ископаемых. Б. П. Кротов (1959) установил зависимость от климатических и тектонических условий распределения месторождений железа и алюминия для Уральской геосинклинали, Г. И. Бушинский (1958) — приуроченность к климатическим зонам процессов формирования глин и бокситов. Ю. К. Горецкий (1960) создал концепцию о приуроченности бокситообразования к определенным структурным зонам, периодам относительного тектонического покоя и влажным тропическим и субтропическим зонам.

Л. А. Назаркин (1955), сопоставив карту размещения нефтеносных областей на земном шаре с распределением климатических зон, пришел к заключению, что залежи нефти всегда формировались в жарких зонах, где создавались наиболее благоприятные условия для массового накопления нефтеобразующих продуктов. Это подтверждается присутствием в осадочных отложениях нефтеносных районов теплолюбивой фауны и флоры, карбонатных пород, сульфатов, галогенов, рифовых кораллов, большого процента глинистых частиц (после каоли-

низации полсвошпатовых пород). К аридным зонам всегда приурочены нефти с большим содержанием серы, а также залежи солей. Последние образуются в крупных котловинах, тектоническое прогибание которых безусловно способствовало концентрации соляных залежей. Однако лишь один этот процесс не мог определить выпадения и накопления солей в аридной зоне. Различием природных условий определяется один из важнейших процессов образования россыпей — концентрация тяжелых компонентов и все многообразие россыпных месторождений. Известно также, что образование углей и торфяников, а также гипергенных железных и марганцевых руд происходило в озерах и болотах гумидной зоны.

Несмотря на относительную устойчивость географических зон, они смещались в ходе исторического развития Земли, что приводило к наложению друг на друга зон с различной природной средой. Зоны, благоприятные для образования полезных ископаемых данного типа, сменялись зонами с неблагоприятными условиями. Этим можно объяснить современное положение многих месторождений в несвойственных им географических зонах. Например, некоторые нефтяные и газовые залежи, связанные с палеозойскими известняками, свидетельствующими об образовании их в условиях жаркого климата, обнаруживаются сейчас в северных широтах (месторождение Форт-Норман впадины Макензи, Каталла и мыса Барроу на Аляске, Ухтинское и месторождения Западной Сибири в СССР). Смещению географических зон в ходе исторического развития Земли и его роли в распространении процессов угле- и бокситообразования большое значение придают П. И. Степанов (1937) и Ю. К. Горецкий (1960). Последний констатирует, что постепенное продвижение области тропического пояса из более северных районов в современные экваториальные вызвало перемещение зоны рифогенных известняков и бокситовых отложений, образующихся в окраинных частях геосинклиналей. На Урале это повлекло смещение зоны бокситообразования с северных широт в девоне до широт Средиземноморья в мезозое и кайнозое и до экваториальной области в современную и неогеновую эпохи. Следует отметить также несоответствие геоморфологических условий бокситообразования современной и прошлой обстановке географических зон. Залежи бок-

ситов меловой и неоген-палеогеновой эпох формировались в условиях озерно-болотистой местности и почти не расчлененного рельефа. В районах же современного распространения бокситов рельеф пересечен, и их залежи сохранились на плоских водоразделах, еще не затронутых процессами эрозии.

Таким образом, для прогноза размещения месторождений экзогенного класса необходимо установить приуроченность данного типа полезного ископаемого к определенной географической зоне, а также соответствие или несоответствие зон древнего рудообразования современным географическим зонам. В случае несоответствия и смещения их площадей поиски залежей полезных ископаемых должны проводиться на обширных площадях, постепенно сосредоточиваясь в отложениях, соответствующих определенным климатическим эпохам.

Вопросы географической зональности следует рассматривать и с точки зрения синхронности или асинхронности процесса рудообразования условиям географической среды. Процесс осадочного рудообразования, начиная со стадии выветривания коренных пород на континенте до отложения в области седиментации, может происходить в течение одной или нескольких географических эпох. Причем эти последующие эпохи по своим природным условиям могут и не соответствовать первоначальным условиям зарождения залежей полезных ископаемых. Известно, например, что на восточном склоне Урала в течение всего первого периода образования бокситов (триас-юра) климат был влажным и жарким, а последующей меловой эпохи — более сухим и умеренным. Таким образом, в случае полной синхронности эпохи рудообразования данной географической среде нужно выяснить географические условия лишь одной этой эпохи, а в случае растянутости процесса осадочного рудообразования на время нескольких эпох возникает необходимость в нескольких палеогеографических реконструкциях, соответствующих природным условиям первого и второго этапов рудообразования.

Необходимо также учитывать различия зонального рудообразования на суше и в морских бассейнах, платформах и геосинклиналях. На суше, особенно ее платформенных участках, приуроченность месторождений полезных ископаемых к географическим зонам обычно вы-

ражена лучше, чем в океане. В морских бассейнах один и тот же фациальный тип осадка нередко переходит из зоны в зону. Более постоянное положение зон в морских бассейнах, по-видимому, определилось сходством состава вод в палеозойских и современных морских бассейнах. Для геосинклинальных областей характерны эффузивно-осадочное осадкообразование и вертикальная зональность рудообразования.

Отношение различных полезных ископаемых к географическим зонам различно. Так, известно, что гипергенные месторождения железа и марганца образуются главным образом в гумидной, а соли — только в засушливых зонах. Месторождения современного торфа, хотя и тяготеют к гумидной зоне, но известны также в субполярных и тропических зонах. Большие площади днищ океанов разных широт занимают современные фосфориты. Таким образом, по отношению к географическим зонам можно различать многозональные и однозональные полезные ископаемые.

Другая важная закономерность размещения экзогенных полезных ископаемых — их приуроченность к определенным геоморфологическим поясам, которые названы Д. Г. Сапожниковым (1961) в зависимости от особенностей их рельефа нулевой зоной — зоной преобладающего размыва, первой зоной — частичного выноса и формирования остаточных месторождений, второй зоной — формирования осадочных континентальных месторождений, третьей зоной — формирования морских отложений.

Нулевая зона включает возвышенные участки платформ, совпадающие с областями щитов. Значительные высоты и расчлененность рельефа этой зоны неблагоприятны для развития химического выветривания и седиментации. Преобладают процессы механического разрушения коренных пород и вынос обломочного материала. Зона бедна месторождениями: россыпи золота, современные горные торфяники, обогащенные редкими и рассеянными элементами.

Первая зона включает невысоко приподнятые участки платформ, совпадающие со щитами, крупными антиклизмами и другими положительными элементами. В условиях относительного тектонического покоя и благоприятных климатических условий идет активное химическое разрушение коренных пород и образование кор

выветривания с остаточными железными и марганцевыми рудами (на породах ультраосновного состава), россыпями редких и рассеянных элементов (на щелочных породах), железными рудами (на железистых кварцитах). Одна из важнейших задач при проведении поисковых работ в пределах зоны — установление границ кор выветривания разных возрастов.

В пределы второй зоны входят обширные пониженные площади равнин, где концентрируются различные осадочные месторождения. В долинах рек, озерных котловинах, карстовых воронках переотлагаются руды кор выветривания, например бокситы, россыпи, а из растворов, поступающих из кор первой зоны, осаждаются концентрации озерно-болотных железных и бокситовых руд. В озерах и болотах областей с влажным климатом образуются также торфяники и угли, а в условиях засушливого климата — соли. В рудообразовании этой зоны большое значение приобретают органические процессы.

В третью зону входят эпиконтинентальные морские бассейны, в которых господствуют процессы механической аккумуляции и химического осаждения растворенных компонентов. Здесь формируются месторождения фосфоритов, солей, паралические угли, залежи морских горючих сланцев. В прибрежной полосе, где еще идет размыв и пересотложение осадков, образуются россыпи, в том числе редких и рассеянных элементов, например монацито-цирконово-ильменитовые по западному побережью Индостана. В полосе мангровых зарослей, лагун и болот накапливаются торф, бурые и каменные угли, нефть, соли, на мелководных морских шельфах — железные и марганцевые руды. На глубинах не более 300 м проходят процессы фосфоритообразования.

По мнению Д. Г. Сапожникова (1961), который дал характеристику этих зон, зональность осадочного рудообразования лучше всего выражена на современной Индийской платформе. В южной части платформы формируются остаточные тропические и субтропические красноземы. В Западных Гатах и в нижнем течении Ганга (первая зона), где господствует жаркий и влажный климат, формируется латеритная кора выветривания, а в Индо-Гангской впадине (вторая зона) идет процесс континентальной седиментации. В прибрежной зоне юго-запада Индийской платформы из-за узости

шельфа, кроме россыпей, других месторождений не образуется.

В аридных условиях рудообразование протекает по-другому. Здесь нет остаточных месторождений и кор выветривания нулевой и первой зон, для второй зоны характерны медистые песчаники, соли, урановые месторождения, переотложенные железные руды и бокситы, а для третьей зоны — фосфориты, соли и урановые руды.

Для того чтобы возникли месторождения полезных ископаемых промышленных концентраций внутри географических зон, недостаточно одного благоприятного климатического или тектонического фактора. Геологические материалы последних лет подтверждают, что рудные узлы возникают там, где благоприятный климат сочетается с необходимыми ландшафтно-тектоническими условиями (Н. М. Страхов, 1960). Ярким примером этого могут служить угольные месторождения, для образования которых необходима богатая растительность, обводненность территории, плоский рельеф, медленные тектонические прогибы и т. п. При отсутствии одного из этих компонентов месторождений промышленного значения не образуется.

Наиболее благоприятные условия для образования месторождений полезных ископаемых создаются на окраинах горных систем, в межгорных впадинах, на мелководных шельфах, приморских равнинах, в прибрежных зонах озер и болот. Значение таких территорий, как арены концентраций полезных ископаемых, определяется их положением на границах различных физико-химических сред, а также геоморфологической обстановкой, обеспечивающей разложение горных пород, сортировку, осаждение полезных фракций и последующую сохранность месторождений. Самое высокое содержание редких металлов отмечено, например, на участках береговой полосы Бразилии, Индии, Цейлона, Австралии. Обстановка, благоприятная для формирования марганцевых руд, создавалась также недалеко от берегов древней суши, в корях выветривания которой аккумуляровались конечные продукты химической дифференциации. Выровненность рельефа древнего материка, его незначительные уклоны обуславливали медленное течение рек, которые, впадая в море, не могли оттеснить далеко от берега тяжелые морские воды. Процессы коагуляции и

марганцевого рудообразования происходили здесь же, у берегов континента. Например, у окраин Дзирульского массива, в мелководной части шельфа морской бухты, в условиях свободного доступа кислорода отлагались высококачественные окисленные Чиатурские марганцевые руды. По периферии областей накопления красноватых толщ в Казахстане, в устьях рек, опресненных или слабо засоленных бассейнах концентрировались медистые песчаники (например, месторождения Атбасарское в заливах и лагунах Тенизской впадины, Джекказганское в заливах Сарысуйской впадины).

Закономерности большой практической ценности установили Н. М. Страхов (1960) и Ю. А. Мещеряков (1965), которые наметили коррелятные связи между группами полезных ископаемых и морфоструктурными типами формаций. В условиях гумидного осадкообразования в пределах «первичных» формаций красных низменностей должны содержаться геохимически наиболее подвижные компоненты P , $CaCO_3$, $MgCO_3$, SiO_2 , а также марганцевые руды. Внутриплатформенные «вторичные» формации благоприятны для скопления оолитовых железных руд, фосфоритов, кремнистых пород, а наложенные формации низменностей и пластово-структурных территорий — для россыпных месторождений и менее подвижных рудных компонентов — бокситов, озерно-болотных железных руд.

Более частные закономерности размещения полезных ископаемых связаны с характером сочленения положительных и отрицательных морфоструктур, величиной градиентов движения между областями сноса и аккумуляции. По мнению Ю. А. Мещерякова, эти показатели определяют ширину разноса продуктов размыва и конфигурацию зон высоких концентраций элементов.

Отмеченные географические закономерности размещения полезных ископаемых являются общими для экзогенных месторождений и определяют не только их многие генетические черты, но и особенности поисков.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ПРИЕМЫ ПОИСКОВ ЭКЗОГЕННЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Среди методов поисков полезных ископаемых вполне естественно наибольшая популярность собственно геологических методов. Однако в последние годы стали использоваться и другие методы, основанные на изучении связей между полезными ископаемыми и отдельными природными компонентами — рельефом (геоморфологический метод), растительностью (геоботанический индикационный метод), водами (гидрохимический метод) и т. п. Эти методы успешно применяются в практике геологопоисковых работ, хотя еще и недостаточно разработаны.

Геоморфологические методы поисков полезных ископаемых основаны на всестороннем анализе рельефа и процессов рельефообразования, которые прямо или косвенно могут указывать на возможность обнаружения в данных условиях месторождений. Применение геоморфологического метода наиболее рационально для поисков экзогенных полезных ископаемых — россыпей золота, алмазов, редких металлов, а также нефти, угля, торфа, бокситов, железа, марганца, строительных материалов. Выбор метода поисков и содержание геоморфологических исследований зависят от типа полезного ископаемого и глубины его залегания. Поисковые работы приобретают гидрогеоморфологическое направление, если решаются вопросы поисков русловых россыпей, палеогеоморфологическое — при поисках угля или других древних погребенных залежей, структурно-геоморфологическое — если ведутся поиски нефти в районах тектонических структур.

Поисковые геоморфологические исследования еще не оформились в четкую и законченную систему методов, однако уже сейчас можно выделить палеогеоморфологический, морфогенетический, структурно-геоморфологический методы, соответствующие им приемы и способы поисков. Эти методы тесно связаны друг с другом и в практической работе часто возникает необходимость в их совместном использовании.

Палеогеоморфологический метод основан на изучении истории развития рельефа и определении возраста современного рельефа. Этот метод позволяет установить

последовательность этапов развития рельефа и значимость их в образовании и сохранении месторождений полезных ископаемых; оптимальные геоморфологические условия для обнаружения полезных ископаемых; опознать в современном рельефе унаследованные черты эпох рудообразования.

Геоморфологическая обстановка значительно меняется в периоды оледенений, длительного и интенсивного размыва поверхности суши, когда многие из месторождений уничтожаются или становятся непромышленными. С другой стороны, важно установить стадии развития рельефа, способствующие процессам концентрации, обогащения и сохранения полезных ископаемых. Конкретный путь реконструкции палеогеоморфологических условий — изучение кор выветривания и древнего погребенного рельефа.

Изучение кор выветривания с целью поисков проводится как с точки зрения их соотношений с климатическими зонами, так и связи с рельефом. Для кор выветривания умеренной зоны характерны главным образом концентрации железа и марганца, для тропической зоны — образование латеритных кор, а также концентрации алюминия и угля.

Наиболее ценные результаты дает изучение кор выветривания красноземного типа. Климатические условия образования этих кор в историческом развитии Земли были относительно постоянны. Коры и сконцентрированные в них малоподвижные полуторные окислы сохранились без существенных изменений. Закономерности размещения латеритных кор определяются и геоморфологическими условиями. Эти коры образуются на поверхности древнего рельефа, чаще всего пенеплена. В этих условиях интенсивно протекают химические процессы и почти не удаляются с места образования продукты выветривания. Благодаря небольшим уклонам течение поверхностных и грунтовых вод замедляется, расширяется поле деятельности для площадного сноса и аккумуляции, что увеличивает фильтрацию воды в грунт и ослабляет силу эрозии. В условиях относительно высокого базиса эрозии реки теряют способность углубляться и вскрывать новые горизонты горных пород. Боковая же эрозия приводит лишь к перемыву ранее отложенного рыхлого материала, который почти не переносится медленно теку-

щими реками. Это ведет к массовой аккумуляции продуктов выветривания, постепенной деградации речной сети, образованию бессточных котловин озер и болот. По-видимому, в конечные стадии пенеппенизации новых поступлений россыпных минералов в кору выветривания из коренных источников уже не происходит, так как кора толстым слоем покрывает коренные породы.

Пенеппенизация рельефа и связанная с нею замедленная циркуляция грунтовых вод создает благоприятные условия для сохранения в корах выветривания полуторных окислов и концентрации месторождений остаточного типа. Таким образом, кора выветривания — это не только индикатор на геоморфологические условия, благоприятные для образования остаточных полезных ископаемых, но и фиксатор рельефа, в частности поверхностей выравнивания. Участки рельефа, фиксированные корой выветривания, должны быть предметом тщательного исследования. Изучению подлежат также выраженные в рельефе или погребенные фрагменты разновозрастных поверхностей выравнивания суши и дна моря, образовавшиеся в период компенсации тектонических движений экзогенными процессами. При этом выясняется время формирования и генезис поверхностей, их гипсометрическое положение, а также морфология, характеризующая основные стадии их развития. Особенно важно выявить в современном рельефе черты первичного рельефа поверхностей выравнивания и степень последующих преобразований. Кору выветривания изучают по геологическим и генетическим типам, их минералогическому составу, геологическому возрасту, мощности, приуроченности к определенным типам и формам рельефа.

Программой работ по изучению поверхностей выравнивания и кор выветривания СССР (1964) предусмотрено изучение основных типов поверхностей выравнивания и кор выветривания: поверхности выравнивания суши (денудационные и аккумулятивные), поверхности выравнивания дна океанов и морей, сформированных волновыми и неволновыми процессами, минералогические типы остаточных и аккумулятивных кор выветривания (ферралитные и сиалитные коры разных возрастов) *.

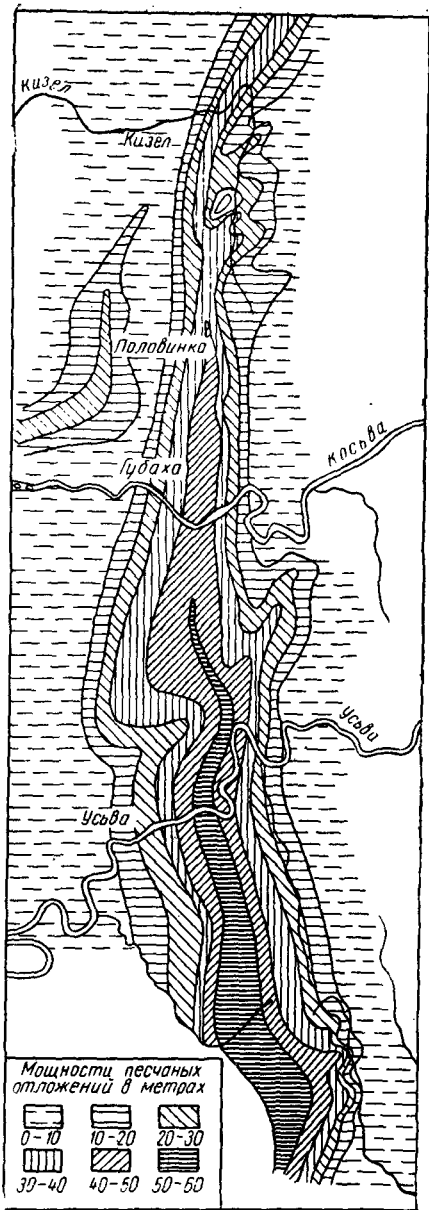
* См.: «Методика геоморфологического картирования». «Наука», 1965.

Тесные связи между корами выветривания и пене-
низацией рельефа установлены для многих районов ми-
ра, но особенно они отчетливы на Среднем и Южном
Урале, к древним поверхностям которого приурочены
месторождения железа, никеля, алюминия и других руд.
Подобные связи характерны и для Русской равнины, в
Тихвинском районе которой на повышениях рельефа ле-
жит латеритная кора с бокситами, а в понижениях —
угли.

Палеогеоморфологический метод используется также
для изучения погребенного рельефа со специальными
поисковыми целями. В этом случае исследуется погребенная
эрозионная поверхность и унаследованность ее
форм современным рельефом. Погребенная поверхность
эрозионного размыва определяет многие черты морфологи-
и и развития залежей полезных ископаемых, а изуче-
ние ее подводит к решению практически важных вопро-
сов о размещении полезных ископаемых, форме тела
осадочных месторождений, колебании их мощностей,
структуре залежей, направлении сноса и накоплении
рыхлого материала.

Данные разведочных работ показывают, что залежи
полезных ископаемых располагаются или непосредствен-
но на древней поверхности размыва, или выше, отделя-
ясь от нее по возрасту значительным перерывом. При-
урочиваясь к положительным и отрицательным формам
рельефа, эти полезные ископаемые часто не имеют пря-
мой связи с тектоническими структурами.

Интересную работу по восстановлению погребенной
долинной сети в Кизеловском угленосном бассейне про-
делал П. В. Васильев (1950). Используя богатый факти-
ческий материал, он установил по конфигурации, изме-
нению мощностей и составу песчаных угленосных
отложений два погребенных русла, врезанных на не-
сколько десятков метров. В южном и юго-западном на-
правлении увеличиваются мощности песчаных отложений
и ширина их полосы (рис. 2). Это свидетельствует об
углублении и расширении долин на юг и юго-запад, а
также течении вод и приносе обломочного материала с
северо-востока. По-видимому, на юго-западе района рас-
полагался водный бассейн, который и был базисом эро-
зии этих рек. Тектоническое строение территории не
оказывало значительного влияния на развитие гидрогра-



фической сѣти, так как реки того времени косо пересекали основные геологические структуры. Неоднократное повторение в вертикальном разрезе угленосной толщи контуров глубоких древних русел при их неизменном меридиональном направлении указывает на сильный размыв угленосной толщи и ее общее долготное простираие. Судя по глубинам погребенных долин, выполненных песчаными отложениями, размывы угольных пластов в Кизеловском районе достигли большой величины (85 м при размыве основной угледержащей свиты). Анализ взаимного положения русла и угленосных свит в периоды их угленакпления свидетельствует о том, что нижние угленосные

Рис. 2. Погребенные долины Кизеловского угленосного бассейна, выполненные песчаными отложениями (по П. В. Васильеву, 1950)

свиты подвергались последующим размывам, а верхние — одновременным размывам. Погребенный рельеф нередко изучают и при решении вопроса о смещении сводов пластов, погребаяющих нефтеносные структуры (см. раздел о нефти).

Один из распространенных приемов палеогеоморфологического метода — определение в современном ландшафте унаследованных форм рельефа.

Многие геологические разрезы свидетельствуют о том, что на протяжении длительного времени в одном и том же районе появляются аналогичные формы погребенного рельефа, в частности речные долины. Они четко и последовательно проектируются из глубины наносов на древние погребенные и современную дневную поверхность: долины Кизеловского угленосного района, бассейна Бодайбо в районе Ленских золотых приисков, золотоносные долины Центрального Казахстана, газоносные — западного Приазовья, Подмосковного угольного бассейна и др.

При геоморфологических исследованиях обычно обращают внимание на унаследованность современного рельефа. Это имеет большое практическое значение, так как известная связь полезных ископаемых с древними речными долинами и унаследованный характер многих современных долин дают основание для поисковых работ. При этом важно определить время возникновения унаследованных черт современного рельефа и установить тот предельный возраст, старше которого нецелесообразно сравнивать древний и современный рельеф, так как они могут быть слишком различны. Например, известно, что современный рельеф восточного склона Южного Урала наследует многие черты рельефа доюрской поверхности, с которой связан ряд силикатных никелевых месторождений. Вполне естественно, что в этом случае анализ развития рельефа следует начинать с доюрского времени.

Признаком унаследованности рельефа широко пользуются при поисковых работах на газ в Западном Приазовье (рис. 3). Историю развития рельефа, по-видимому, целесообразно восстанавливать здесь с нижнесарматского времени, так как современный рельеф отчетливо повторяет рисунок кровли базальных железистых песчаников киммерийского времени и черных глин сарматско-

го возраста, к нижней части которых приурочены наиболее интенсивные газопроявления. Стратоизогипсы, проведенные по кровле газоносных нижнесарматских отложений и основанию киммерийского яруса, совпадают с изогипсой +20 м современного рельефа. Эта изогипса,

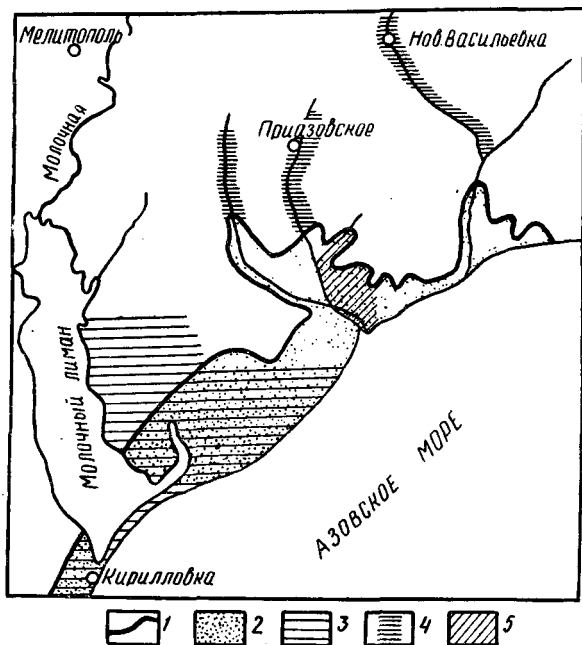


Рис. 3. Схематическая карта распространения газовых залежей и перспективных площадей в Западном Приазовье (по А. А. Ханину, 1948):

1 — контур перспективной газоносности сарматских отложений (газовая залежь заливообразной формы), 2 — перспективная площадь разведки на газ сарматских отложений, 3 — перспективная площадь разведки на газ меловых отложений, 4 — шнурковая газовая залежь в киммерийских осадках, 5 — разрабатываемая эксплуатационная газоносная площадь

окирчивая широкую полосу вдоль побережья Азовского моря — лиманы Тубальский, Молочный, Утлюцкие, Сиваши и часть долин рек, впадающих в эти лиманы, позволяет установить древние долины рек на месте лиманов Тубальского и Молочного. По структурным картам удастся также выявить, что современная долина Домузлы унаследована от более древней и широкой

Дни р. Домузлы, которая по отношению к современному руслу реки несколько смещена к востоку. К этой северной долине и приурочены лучшие газовые коллекторы с наибольшим дебитом газа. Связь газоносности с местным рельефом и унаследованный характер современного рельефа речных долин дают основание искать продуктивные фации сармата в пределах современных долин понижений, наследующих древние лиманы и речные долины. Изогипса +20 м, очерчивающая эти современные депрессии, может служить также хорошим поисковым признаком, помогающим определить направление и характер поисковых работ на газ в Западном Приазовье.

Таким образом, современный унаследованный рельеф — ценный поисковый критерий. Но такой подход, ограничивающий анализ развития рельефа лишь определением его исторических корней, хотя и правилен, но для целей поисков недостаточен. В этом случае важна другая сторона унаследованности рельефа — ее устойчивость в геологическом прошлом. Тут уж приходится восстанавливать историю развития рельефа с более древнего времени.

В связи с этим очень показательна история развития рельефа Кизеловского угленосного бассейна. Здесь современный рельеф почти не наследует существенных черт поверхности эпохи угленакопления и, следовательно, почти не используется как поисковый критерий. Но в разрезе мощной угленосной Кизеловской толщи четыре раза появляется эрозионный рельеф примерно сходного облика. Это удивительное постоянство и устойчивость погребенной долинной сети, почти не отражающейся в современном рельефе, является главным фактором местного угленакопления и распределения угольных пластов.

Возможность унаследования рельефа определяется общими условиями развития данной территории: режимом колебательных движений при неизменном климате, характером рельефа и закономерностями развития речных долин. Для появления унаследованного рельефа прежде всего существенны постоянство и периодическое восстановление колебательных движений разных знаков в одном и том же месте, небольшие амплитуды движений на фоне общего погружения суши и неизменность климата.

Значительные колебания положительного или отрицательного знака, а также изменения климата создают условия, неблагоприятные для сохранности рельефа. При погружении суши речные долины интенсивно заносятся рыхлым материалом и так глубоко погребаются, что новая эрозионная сеть уже не может «нащупать» эти древние долины и развивается по новому плану. В этом случае появляются пассивные перехваты и формируется древовидная речная сеть. При большом поднятии рельеф суши усиленно размывается и старый рельеф меняет свой облик, — возникают активные (регрессивные) перехваты, происходит перестройка гидрографической сети.

Унаследованность рельефа можно использовать в поисках при закономерном проявлении ее на большой площади, но следует иметь в виду, что в условиях небольших амплитуд колебательных движений обширные территории могут перекрываться рыхлыми отложениями лишь при выровненном рельефе суши. Плоский рельеф обуславливает сравнительно неглубокое залегание грунтовых вод, приуроченных чаще всего к древним погребенным долинам. Эти грунтовые потоки определяют формирование поверхностных эрозионных форм — оврагов, которые, в свою очередь, дают начало новым речным долинам. Так из слоя в слой могут повторяться долины со сходными чертами рельефа.

Наибольший экономический эффект дает совместное использование палеогеоморфологического, литологического и геофизического методов. Интерпретируя и сопоставляя данные геологических и геофизических разрезов, топографических карт погребенного рельефа, палеогеографических карт древних поверхностей размыва, можно подойти к решению важных вопросов о закономерностях формирования и распределения полезных ископаемых на глубине.

Морфогенетический метод поисков основан на изучении связей полезного ископаемого с морфологией и генезисом рельефа.

В геологической литературе есть немало указаний на прямую связь между формами, генезисом рельефа и телом полезного ископаемого. Эти внешне простые и легко улавливаемые связи, выражая сложные физико-химические процессы, неоднократно служили надежными признаками в поисках полезных ископаемых. Ниже рассма-

приваается один из возможных приемов изучения связей между полезными ископаемыми, морфологией и генезисом рельефа.

По отношению к залежам полезных ископаемых можно выделить три группы форм рельефа, образовавшихся до формирования залежей, одновременно с ними или после них.

Прогенетические формы рельефа появились до образования залежей полезного ископаемого и служат их вместилищем. Особенно ценны для поисков отрицательные формы рельефа — впадины, котловины, западины, долины и другие полигенетические формы. Здесь создаются наиболее благоприятные условия для выпадения из водных растворов механических, химических и биохимических осадков и лучшей сохранности их от размыва. Вместилищем многих полезных ископаемых служат долины, впадины и карстовые воронки Урала. С понижениями рельефа, образовавшимися еще в герцинскую эпоху, здесь связаны многие месторождения угля и бокситов. В настоящее время эти понижения заняты обширными болотами и медленно текущими реками, как бы повторяющими древнюю обстановку угле- и бокситонакопления. Разведочные работы показывают, что размер и форма этих понижений в большинстве случаев обуславливают размеры и форму рудного тела.

С древними формами открытого и закрытого карста связаны уральские месторождения бокситов, никеля, кобальта, меди, железа, свинца, цинковых руд, углей, россыпей золота. Месторождения открытого карста образовывались в водоемах, куда стекали потоки поверхностных и грунтовых вод, насыщенные вблизи коренных месторождений металлоносными осадками и растворами. Из-за отсутствия кровли в открытые воронки попадало много пустых рыхлых пород. По данным И. И. Гинзбурга (1952), с открытым карстом Урала чаще связаны скопления железных руд, большое содержание которых в породах делало неопасным принос в карстовые воронки неметаллоносных рыхлых осадков. В условиях закрытого карста месторождения полезных ископаемых образовывались в уже заполненной полости или в результате разложения рыхлого материала, или во время инфильтрации. В закрытых формах карста чаще образуются месторождения цветных металлов.

К положительным формам рельефа — возвышенностям, холмам, особенно имеющим антиклинальное строение, часто приурочены залежи нефти, газа, рудных ископаемых. Привершинные части поднятий представляют как бы отдушины, куда под влиянием внутреннего давления устремляются растворы и эманации. Если приповерхностные части возвышенностей сложены глинами, глинистыми сланцами, то это способствует скоплению руд, газа и нефти. Известно, например, что более 60% нефтяных месторождений США приурочено к куполовидным поднятиям рельефа, очень многие месторождения СССР также связаны с антиклиналями, брахиантиклиналями и куполами, прекрасно выраженными в рельефе.

Приуроченность залежей полезных ископаемых к прогенетическим формам положительного рельефа как поисковый критерий с большим успехом может быть использован в областях молодого тектонического рельефа, где тектонические структуры и формы рельефа еще не изменены последующими процессами денудации и совпадают друг с другом. Наоборот, к отрицательным прогенетическим формам рельефа тяготеют преимущественно месторождения платформенных областей с древним рельефом.

Сингенетические формы рельефа возникли одновременно с месторождениями полезных ископаемых и совпадают с ними пространственно. К числу таких форм относятся, например, аккумулятивные ледниковые формы — озы и камы, аккумулятивно-эрозионные формы в долинах рек. В таких областях развития аккумулятивного и построенного рельефа, образовавшегося за счет неравномерного или локального отложения рыхлых продуктов разрушения горных пород, чаще всего обнаруживаются осадочные месторождения из группы строительных материалов, а также различные россыпи и залежи каустобиолитов (нефть, уголь).

К этой же группе форм рельефа можно отнести и древние морские шельфы, совместно с которыми формируются месторождения марганца и фосфоритов. Синхронно возникают также кимберлитовые трубки с алмазами и соответствующие им конусовидные формы рельефа, превратившиеся в настоящее время в структур-

но-денудационные, радиально расчлененные делями возвышенности.

Эпигенетические формы рельефа возникают над месторождением после его образования. В зависимости от характера процесса, вызывающего появление над телом полезного ископаемого положительных или отрицательных форм рельефа, можно выделить формы, связанные с процессами выветривания и окисления рудной залежи*.

Если рудные жилы, штоки, пласты лучше сопротивляются процессам выветривания, чем вмещающие их породы, то они выступают в виде гребней, гряд, зубьев, ребер, куполов. Их характерная внешняя форма может указывать на существование здесь маркирующих горизонтов и непосредственно на залежи полезных ископаемых. Характерные формы рельефа образуют окварцованные породы, скарны, закированные песчаники, горелые углистые породы. В Центральном Казахстане хорошо известны сопки, резко выдающиеся на фоне равнин, сложенные вторичными кварцитами, трудно поддающимися процессам выветривания. С ними обычно связаны крупные месторождения медных порфириновых руд (Коунрад, Борлы и др.).

Прекрасно отражаются в рельефе в виде цепи холмов выходы железорудных пластов Ангаро-Питского бассейна, пласты титаномагнетита Кузинского месторождения, руды горы Магнитной, Бакальское месторождение железа (Урал). На ровных заболоченных и залесенных территориях Восточной Сибири выделяются грядки хрусталеносных свит алданских кварцитов. Характерные формы рельефа создают твердые и устойчивые к выветриванию горелые породы угольных пластов. Такие грядки из уплотненных подземными пожарами песчаников и углей нижнемелового возраста характерны для Лено-Вилюйской впадины. Они дают основание для поисков пластов каменного угля на смежных участках. Образование отрицательных форм рельефа иногда связано с процессами выветривания за счет разрушения более мягких вмещающих руды пород или за счет разрушения самой залежи. Особенно легко разрушаются при приближении

* Формы рельефа, созданные процессами окисления рудной залежи, рассматриваются на стр. 116—118.

к поверхности пласты каменного угля. Они обозначаются линейно вытянутыми понижениями.

Так как эпигенетические формы рельефа, связанные с процессами избирательного физического выветривания в пределах рудного поля, появляются над залежами полезных ископаемых, то они могут служить прямым индикатором на них. Однако, как правило, эти признаки отражают лишь местные процессы в пределах предварительно оконтуренной площади, перспективной на данное полезное ископаемое.

Генезис месторождений полезных ископаемых часто определяется генезисом форм рельефа, их вмещающих, поэтому некоторые типы полезных ископаемых и получили соответствующие геоморфологические определения: карстовые, озерные и болотные руды, террасовые, пойменные, косовые россыпи и т. п.

Морфологический анализ рельефа больших территорий помогает установить общий прогноз генетических типов полезных ископаемых. Для областей первичнотектонического рельефа, где элементы орографии и тектоники еще вполне совпадают по положению, характерны различные магматические месторождения, особенно небольших глубин (ртуть, сурьма, мышьяк). Для выработанного рельефа, образовавшегося главным образом путем удаления масс горных пород различными агентами денудации, свойственны разнообразные ассоциации руд. Здесь могут быть обнаружены магматические месторождения глубокой гидротермальной зоны (касситерит, шселит, магнетит, гематит, золото). К таким областям относится, например, мелкосопочный рельеф, образующийся в условиях сложной складчато-сбросовой структуры сильно метаморфизованного кристаллического платформенного фундамента, выходящего непосредственно на поверхность. В областях развития аккумулятивного и построенного рельефа, возникшего за счет неравномерного или локального отложения рыхлых продуктов разрушения горных пород, чаще обнаруживаются осадочные месторождения из групп строительных материалов, а также металлические и минеральные россыпи.

При использовании данных генетического анализа рельефа очень важна теоретическая концепция, принятая исследователем. Поскольку на происхождение многих геоморфологических объектов существуют различные

точки зрения, то от этого будет зависеть перспективная оценка территории на рудопроявления.

Если принять, что денудационные поверхности появляются в результате стачивания гор процессами выветривания, то исследователь предвидит находки полезных ископаемых какой-либо одной генетической группы. Совсем по-другому выглядит предполагаемое распределение полезных ископаемых, если объяснять присутствие в горах выровненных площадей поднятием первично выровненного рельефа. Тогда можно предполагать месторождения различных генетических групп в зависимости от генезиса тех участков первичных равнин, которые были приподняты и вовлечены в систему гор. Первая концентрация ограничивает прогноз, вторая расширяет возможность поисков. Примером значения различия во взглядах на происхождение рельефа для поисков полезных ископаемых может служить территория Урала. На происхождение рельефа Урала существуют две различные точки зрения: денудационная теория, основанная на гипотезе «предгорной лестницы» (В. А. Варсанюфьева), и теория, рассматривающая Урал как результат взаимодействия разнообразных процессов денудации, накладывающихся на разнородную по литологии структуру, осложненную неравномерными глыбовыми движениями (И. И. Краснов и С. Г. Боч).

Это различие мнений на происхождение рельефа Урала существенно для уяснения закономерностей распределения месторождений полезных ископаемых, связанных с современным и древним рельефом. Согласно первой теории, история ярусного развития рельефа Урала обуславливает и соответствующее распределение полезных ископаемых — более древних в высоких ярусах рельефа, т. е. каждому ярусу соответствует свой комплекс полезных ископаемых, а поисковые признаки в данном случае основаны на схеме вертикальной зональности рельефа.

Согласно второй точке зрения, развивающей принципиально иной взгляд на историю развития рельефа Урала, большинство месторождений приурочено здесь либо к древним структурно-денудационным меридиональным депрессиям, либо к древним, дочетвертичным долинам (россыпи), которые располагаются в тех же тектонических депрессиях.

По-разному представляются и закономерности распределения эндогенных месторождений. Более простая, но схематическая картина вскрытия зон оруденения получается, если принять идею консолидации Урала с конца палеозоя и применить к такому пологовоздымающему своду учение о «предгорной лестнице». Гораздо более сложная картина, требующая тщательного структурно-морфологического анализа, получается, если допустить в процессе позднейших этапов развития уральской структуры значительные глыбовые перемещения.

Генезис рельефа существенно влияет на выбор поискового метода. В областях ледниковых ландшафтов целесообразно применение валунно-ледникового метода поисков, а на территориях с эрозионным ландшафтом — шлихового и обломочно-речного методов.

Структурно-геоморфологический метод поисков полезных ископаемых основан на выявлении связей между формами рельефа и тектоническим строением. Возможность применения этого метода основана на определяющем значении в формировании рельефа тектонического фактора и частом совпадении положительных форм рельефа с антиклиналями, брахиантиклиналями, флексурами, а отрицательных форм — с синклиналями и другими тектоническими формами. В процессе изучения рельефа выявляются тектонически обусловленные особенности рельефа и по ним восстанавливается общий тектонический план строения местности, выявляются локальные структуры и их типы, направленность и активность движений, амплитуда, возраст и т. п. В связи с этим структурно-геоморфологические методы исследований особенно эффективны при нефтегазопроисловых работах*.

Используются и другие методы и приемы, связанные с изучением свойств рельефа, например его возрастом и гипсометрическим положением.

В районах, где рельеф подвергался значительным преобразованиям, для установления закономерностей размещения полезных ископаемых нужно распознать участки с формами рельефа различного возраста и реконструировать изменившуюся поверхность. В этом отношении, помимо обычных геологических приемов,

* Подробнее о структурно-геоморфологических методах см. на стр. 101.

большую помощь оказывает восстановление картины развития речных долин и связанных с ними отложений. Примером подобного рельефа и распределения полезных ископаемых служит Тянь-Шань, где сочетаются старые мезозойские денудационные поверхности и молодой рельеф неогенового и четвертичного возрастов.

Анализ возраста рельефа помогает определить качественные и количественные характеристики залежей полезных ископаемых. Например, возраст террас в долине золотоносной реки определяет положение россыпей в их генетическом ряду — от молодых косовых до древних террасовых.

Данные о возрасте рельефа могут быть использованы как для установления общих закономерностей распространения полезных ископаемых, так и для решения частных поисково-разведочных задач.

В качестве примера, иллюстрирующего возможности геоморфологического метода в установлении генезиса, возраста и размещения месторождений, изложим содержание сравнительно старых, но интересных исследовательских работ А. Е. Ферсмана и Д. И. Щербакова (А. Е. Ферсман, 1927).

В передовых цепях северных склонов Алайского хребта располагается месторождение редких металлов Тюямуюн. Небольшое рудное поле месторождения лежит во внутренних частях сравнительно узкого известнякового хребта, ограниченного сбросами. Северные предгорья его сложены комплексом полуразмытых мезозойских, неогеновых и палеогеновых отложений, прикрывающих известняки палеозоя. Самый верхний комплекс отложений образуют четвертичные конгломераты и галечники.

Первые же выработки при разведке месторождения показали, что оно очень сложно по конфигурации, и в очертаниях рудного тела нет определенной закономерности. Не был вначале ясен и генезис месторождения. Без этих необходимых сведений вести дальнейшую разведку и тем более эксплуатацию было невозможно. Основным методом решения этих вопросов Д. И. Щербаков и А. Е. Ферсман избрали геоморфологический.

Вначале был изучен характер образования жил, после чего стало ясно, что рудные тела лежат в древних карстовых пустотах, которые принципиально не отличаются от карстовых полостей, образующихся здесь в на-

стоящее время. Рудные тела, заполняющие карстовые пустоты, имеют зональное строение и сложную конфигурацию, повторяющую в несколько сглаженном виде форму карстовых пустот. Это свидетельствует о том, что рудные элементы использовали уже готовые полости, сформированные обычными карстовыми процессами.

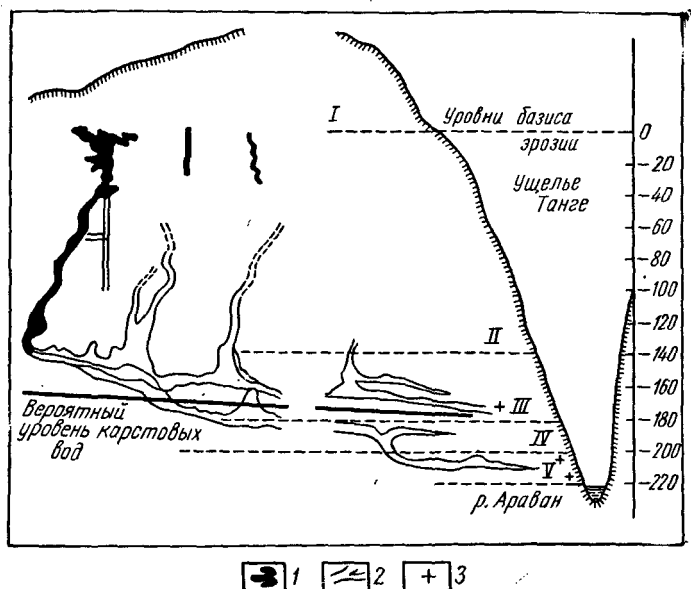


Рис. 4. Схематический широтный разрез через Тюямуюнский гребень и долину р. Араван (по А. Е. Ферсману, 1927):

1 — полости карста реальные, 2 — предполагаемые полости карста, 3 — выходы источников Кок-Булак и Танге

Следовательно, положение рудной залежи обуславливалось расположением карстовых пустот. Это подтвердилось параллелизмом между морфологией карстовых полостей и строением главной рудной жилы, выработанной в то время до глубины 140 м (рис. 4). Явление параллелизма навело на мысль о возможности использования его для изучения карстовых пустот и заполняющих их руд в глубине известнякового массива.

Для решения этой задачи исследователи проанализировали связь наземных и подземных форм рельефа. Сра-

Влияя на расположение высот — входов в карстовые пещеры, террас по рекам Араван, Танге, Акбура, выходов подземных источников — с формой карстовых полостей, А. Е. Ферсман пришел к выводу о том, что понижение базиса эрозии вызывало формирование новых террас и уровней грунтовых вод. Судя по характеру террас, понижение базиса шло скачками, задерживаясь в некоторые периоды. К этим уровням стабилизации, по мнению А. Е. Ферсмана, по-видимому, и приурочены максимальная карстовая деятельность грунтовых вод и специфические морфологические особенности самого карста. Такое заключение стало возможным после анализа возраста и типа Тюямуюнского карста.

Морфологическое изучение территории показало, что в районе месторождения встречается как молодой, так и зрелый карст. Для молодых карстовых форм характерна малая разъединенность полостей, прерывистость их и переход в узкие плоские трещины. Черты зрелого карста прослеживаются в крупных разрабатываемых жилах. На зрелость карста указывают большие размеры пустот, их глубина, мощность сталактитовых образований, свидетельствующая об окончании основной растворяющей деятельности в глубине, близость водоносных горизонтов и т. п.

Морфология карстовых полостей определяет формы рудных залежей — небольшие вертикальные и крупные горизонтальные тела. Встает вопрос о возможном размещении этих форм в толще известняков. В частности, на какой глубине располагаются пустоты зрелого карста как наиболее вместительные и, следовательно, наиболее ценные в промышленном отношении? Для решения этого вопроса необходимо проанализировать расположение террас прилегающих речных долин.

Известняковый хребет месторождения Тюямуюн обрывается к долине реки Араван, по бортам которой тянутся четыре террасы на высотах I-20, II-40, III-80, IV-220 м над уровнем реки или на глубине от начального условного базиса эрозии — 220, 180, 140 и 0 м. На участке с глубиной до 80 м резко преобладала глубинная эрозия. Быстрое понижение уровней поверхностных и грунтовых вод способствовало образованию в толще известняков главным образом вертикальных полостей. Большинство террас расположено на высотах от 20 до

80 м или на глубинах от 140 до 200 м. Основываясь на том, что длительная стабилизация базиса эрозии, внешне выраженная террасами, приводит к длительным процессам карстообразования, можно предполагать, что зрелые формы карста создавались в основном на этих же глубинах. Следовательно, наиболее ценные в промышленном отношении залежи руды нужно искать в горизонтальной плоскости на глубинах от 140 до 200 м.

Геоморфологический прогноз, данный А. Е. Ферсманом и Д. И. Щербаковым, позволяет также сделать выводы о возрасте месторождения. Установив четвертичный возраст террас и связанных с ним карстовых пустот, естественно предположить, что руды, заполнявшие уже готовые карстовые пустоты, также имеют четвертичный возраст.

Практика поисковых работ свидетельствует о том, что поисковым признаком может служить и гипсометрическое положение продуктивных толщ, нередко выраженное резкими перегибами склонов, уступами, денудационными уровнями. Так, известно, что разновозрастные продуктивные горизонты россыпных месторождений ильменита, циркона и рутила в центральной части Русской платформы, в Западной Сибири и на Украине расположены примерно на одном гипсометрическом уровне — от 150 до 180 м. Закономерна приуроченность марганцевого пласта в Чиатурах к абсолютным высотам в 500 и 650—750 м. На этих высотах происходит смена плотных известняков верхнего мела более рыхлыми глинами и песчаниками палеогена, с низами которого связана марганцевая толща. Структурная поверхность плотных известняков ясно прослеживается по склонам плато и хорошо подчеркивает вышележащий пласт марганцевой руды. Современные марганцевые оолиты формируются в море главным образом на глубинах 50—100 м.

Отмеченное побуждает обращать серьезное внимание на морфологические особенности рельефа. Следует лишь ясно отдавать отчет в том, что использование для поисков внешних особенностей рельефа возможно только при глубоком анализе всей геологической и геоморфологической обстановки района поисков.

На геоморфологическом анализе в значительной степени основаны широко используемые в практике поиско-

во-разведочных работ методы и приемы изучения вещественного и гранулометрического состава осадков, шлиховое опробование, валунно-ледниковый и обломочно-речной методы (вычисление среднего объема, формы, окатанности и ориентировки галек) *. Эти методы в свою очередь опираются на изучение морфологии рельефа, процессов денудации, эрозии, геоморфологическую интерпретацию анализов рыхлых отложений.

Группировка месторождений полезных ископаемых по их связям с рельефом и коррелятными отложениями. Для планирования поисково-геоморфологических работ можно пользоваться следующей системой группировки месторождений полезных ископаемых (И. В. Орлов, М. В. Пиотровский, Т. В. Звонкова, О. К. Леонтьев, 1961).

1. Месторождения, генетически связанные с формированием современного рельефа и четвертичных отложений: четвертичные россыпи, торф, глины, пески, гравий. При поисках месторождений этой группы необходимо установить чередование основных периодов денудационно-аккумулятивного развития рельефа, выяснить основные закономерности строения и развития аккумулятивных комплексов.

2. Месторождения, связанные с развитием дочетвертичного рельефа и коррелятных отложений, существенно отраженных в строении современного рельефа. К этой группе принадлежат разновозрастные месторождения от неогеновых в районах молодой складчатости до мезозойских в пределах областей, имевших платформенный режим со времени их образования: неогеновые россыпи, некоторые месторождения бокситов и огнеупорных глин мезокайнозойского возраста, осадочные железомарганцевые залежи, месторождения бурого угля, фосфоритов и пластовых вод. При поисках этих месторождений широко используются палеогеографический и палеогеоморфологический методы, анализируются этапы развития областей седиментации, береговых линий морей, тектоническая обстановка накопления и сохранности продуктивных отложений.

* Методика полевого изучения петрографического и гранулометрического состава при геоморфологических исследованиях изложена в книге Г. А. Ильинского и др. «Основы поисков россыпей», Изд-во ЛГУ, 1961.

3. Месторождения, генетически связанные с развитием древнего ископаемого рельефа и коррелятных отложений, не отраженных или отраженных вторично в строении современного рельефа. К таким месторождениям относятся ископаемые россыпи, древние пластовые месторождения, связанные с морскими и частично континентальными осадочными породами, например, фосфоритовые, железомарганцевые, осадочные меднорудные и полиметаллические месторождения в породах, подвергшихся диагенезу и складчатости, месторождения бокситов палеозойского возраста, каменных углей, нефти, газа. Поиски этих месторождений основаны на палеогеоморфологическом анализе — изучении фациальных условий и динамики образования осадков, типов кор выветривания, связей рельефа с геологическими структурами.

4. Месторождения, генетически не связанные с образованием рельефа и коррелятных отложений: эндогенные месторождения тектонических зон и зон смятия, контактово-метаморфические и другие. В этом случае изучаются формы рельефа, отражающие различные структурные элементы — зоны контактов изверженных и вмещающих пород, разломы, зоны смятия и расщеливания и т. п.

Закономерные связи полезных ископаемых с рельефом и их коррелятными отложениями могут служить основой для создания геоморфологической классификации полезных ископаемых.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РОССЫПЕЙ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИХ ПОИСКОВ

Россыпью называют скопление обломочных пород, содержащих зерна или кристаллы полезного ископаемого. По составу полезного ископаемого различают россыпи золотоносные, платиновые, алмазные, вольфрамовые, касситеритовые, редких металлов и др. Добыча полезного ископаемого из россыпи часто значительно рентабельнее, чем из коренных источников, и поиски их имеют большое экономическое значение. Удельный вес полезных ископаемых, добываемых из россыпей, составляет значительный процент, особенно для золота — 65—67%, платины (Урал) — 100, циркония — 85, алмазов — 25, янтаря — 100%.

Несмотря на различие состава и генезиса россыпей, поиски их в целом сходны, поэтому ниже излагается общая методика поисков россыпей.

При поисках россыпей перед геоморфологами ставится очень важная и трудная задача: проследить путь прохождения полезного ископаемого от коренного источника до россыпей и выяснить условия, наиболее благоприятные для их накопления. Решение этой задачи требует глубокого анализа развития современной и древней долинной сети и формирования коррелятных рыхлых отложений; изучения режима тектонических движений в связи с накоплением и сносом рыхлых осадков; реконструкции климатических условий прошлого; анализа движения современного рыхлого покрова и поведения при этом тяжелой фракции, а также понимания гидродинамических и геоморфологических условий современного русла реки и т. п.

Часто тело россыпи лежит на большой глубине. Положение таких россыпей почти всегда связано с рельефом погребенных речных долин, поэтому при поисках россыпных месторождений изучается не только рельеф дневной поверхности, но и погребенный. Условия формирования россыпей зависят также от оледенений, наличия карста, вечной мерзлоты, изучение которых часто включают в программу поисковых геоморфологических исследований.

В целом установлено, что большинство районов с россыпными месторождениями приурочено к областям остаточного рельефа с широким развитием поверхностей выравнивания, главным образом типа подиментов, подвергшихся вторичному расчленению. Этот среднегорный, низкоргорный, иногда равнинный или рельеф островных гор представляет результат глубокого среза тектонических структур и связанных с ними рудных месторождений. В геоструктурном отношении эти территории представляют области палеозойской, реже допалеозойской и мезозойской складчатости.

Классификации россыпей. Известно, что образование россыпей, рыхлого покрова и формирование рельефа представляют лишь разные стороны одного и того же процесса — континентального развития территории. Анализ развития рельефа многих районов убедительно показывает, что весь длительный процесс эволюции горного

и равнинного рельефа, а также малейшие изменения отдельных его форм неизбежно сказываются на положении и составе россыпи. Последняя возникает в процессе выветривания горных пород и перемещения обломочного материала из областей преобладания денудации в области преобладания аккумуляции. На разных стадиях этого процесса в зависимости от характера действующих сил и места концентрации образуются в основном три генетических типа россыпей: элювиальные — на плоских междуречьях, делювиальные — на склонах долин и аллювиальные — в долинах рек.

Эти закономерные связи между россыпями и местами их концентрации были положены Ю. А. Билибиным (1938) в основу их классификации. Несмотря на изменения, которые впоследствии были внесены в эту классификацию, она все же не отвечает уровню современных поисковых работ. В последнее время возникли новые варианты генетических классификаций россыпей (И. П. Карташов, И. С. Рожков, В. С. Трофимов и др.). На наш взгляд, наибольшего внимания заслуживает классификация аллювиальных россыпей И. П. Карташова, так как типы россыпей выделены им в соответствии с генетической классификацией рыхлых отложений и в большей степени отражают эволюцию континентального литогенеза (табл. 1).

Выделяются также россыпи дельтовые, образованные совместным действием речных, прибрежно-морских и озерных процессов, а также террасоувальные россыпи, образованные процессами склоновой денудации речных террас. Для районов старой промышленной добычи целесообразно выделять техногенные россыпи или россыпи отвалов, оставшиеся в русловом аллювии после промывки его драгами. За пределами речных долин различают элювиальные россыпи плоских водоразделов, делювиальные россыпи склонов, коллювиальные россыпи подножий склонов, морские и озерные россыпи, ледниковые и флювиогляциальные, эоловые и карстовые. На Втором всесоюзном совещании по геологии россыпей (1960) Е. В. Шанцер поставил вопрос о необходимости разработки генетической классификации россыпей на динамической основе. «В основу подлинно генетической классификации россыпей необходимо положить выделение разных динамических типов осадков и их естественных родственных

**Единая генетическая классификация аллювиальных отложений
и россыпей (И. П. Карташов, 1965) ***

Аллювий		Аллювиальные россыпи		
фации	фазы	подтипы	группы	виды россыпей
Пойменная Старичная				
	Плоти́ковая		Плоти́ковая	Русловые Долинные Террасовые Водораздель- ные
Русловая	Равновесная и покровная	Пластовый	Надплоти- ковая	Долинные Террасовые Водораздель- ные
		Косовой		Косовые

* Процесс образования аллювиальных россыпей изложен на стр. 63—82.

ассоциаций. Эти динамические типы и их близко родственные группы и следует рассматривать как генетические типы россыпей в строгом смысле этого слова» (Е. В. Шанцер, 1965).

Россыпи формировались в разные этапы континентального развития территории, поэтому они различны по возрасту. И. С. Рожков выделяет следующие основные возрастные группы россыпей: четвертичные, приуроченные к современным элементам рельефа; мезозойские и палеоген-неогеновые, связанные с древними формами рельефа, часто не совпадающими с современными; допалеозойские и палеозойские сцементированные. Древние россыпи чаще всего находятся в погребенном состоянии под толщей аллювия, ледниковых отложений, базальто-

вых лав. Глубоко погребенные и дислоцированные россыпи называют ископаемыми*.

Коренные месторождения, служащие источником россыпей, чаще всего тяготеют к областям горного рельефа, и весь переход коренных месторождений во вторичные россыпи разных генетических типов представляет собой длительный процесс превращения горной страны в равнину.

Климатические и геоморфологические условия формирования элювиальных россыпей. Многие ценные минералы и металлы в коренных породах находятся в рассеянном состоянии, и для накопления богатых россыпей, в том числе и элювиальных, необходима переработка очень больших масс горных пород и образование мощной коры выветривания. Высокая степень измельчения коренных пород и образование мощной коры выветривания возможны лишь в условиях длительного химического воздействия, когда рудосодержащие породы превращаются в мелкие обломки, пески, во всевозможные глины (красноземы, латериты и т. п.), а золото, алмазы, платина и другие устойчивые минералы и металлы образуют полезный компонент элювиальных россыпей. Таким образом, при одном и том же содержании полезного компонента в исходной породе богатство россыпи зависит от объема перемытой массы продуктов выветривания и степени их измельчения.

Наиболее благоприятные условия для формирования рыхлой массы пород и, следовательно, высвобождения устойчивых минералов из связанного состояния при прочих равных условиях создаются в областях теплого и влажного климата. По мнению И. И. Гинзбурга (1961), особое внимание исследователя должна привлекать кора выветривания нижнемезозойского возраста, так как во время ее образования гумидные процессы протекали очень интенсивно. Возможность образования крупных элювиальных месторождений на территории СССР в современных климатических условиях почти исключается. Значительные современные элювиальные россыпные месторождения известны лишь в пустынях, где разруше-

* Некоторые авторы под возрастом россыпи понимают геологическое время, в течение которого произошло отделение от коренного источника и поступление в россыпь основного количества тяжелой фракции (С. С. Лапин, 1965).

нию коренных пород способствуют интенсивные процессы физического и частично химического выветривания (золотые россыпи Калгурли в Западной Австралии, вольфрамовые россыпи Центрального Казахстана).

Другой фактор образования мощной и хорошо развитой коры выветривания и содержащихся в ней элювиальных россыпей — общая равнинность рельефа. При этом

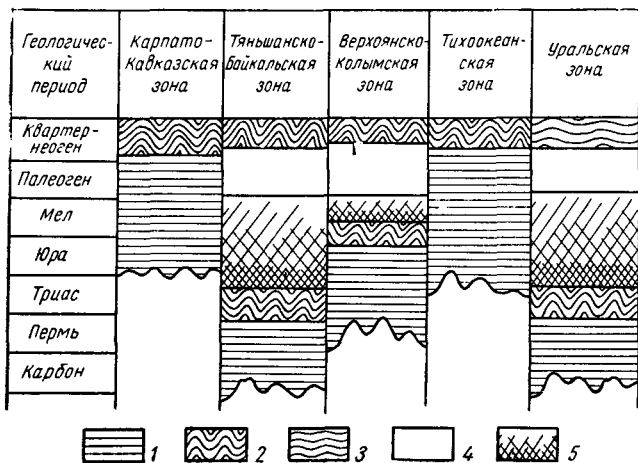


Рис. 5. Схема эпох пенепленизации и россыпной металлогении (по Н. И. Николаеву, с дополнениями А. П. Сигова): 1 — геосинклинальный режим, 2 — горообразование, 3 — слабое горообразование рельефа, 4 — выравнивание рельефа, 5 — главная металлогеническая эпоха

в первые стадии пенепленизации рельефа в кору выветривания из коренных источников поступает значительное количество россыпных металлов. В конечные же стадии пенепленизации, когда кора выветривания толстым слоем перекрывает коренные породы, новых поступлений россыпей не происходит. Таким образом, начиная поиски россыпей, в истории развития данной территории необходимо установить эпохи пенепленизации и образования кор выветривания в условиях влажного и теплого климата (рис. 5). В связи с этим в поле надо обратить внимание прежде всего на состав пород, подстилающих аллювиальные отложения речных долин, и состав самих аллювиальных отложений. В некоторых случаях удастся наблюдать непосредственное залегание аллювия на раз-

мытых остатках коры выветривания, что прямо указывает на источник происхождения его и содержащегося в нем полезного ископаемого. Кроме того, в составе аллювиальных отложений нередко содержится значительное количество галек из кварца, кремния и роговика, тонкие белые глины, светлые кварцевые пески. Такой состав аллювия в большинстве случаев указывает на то, что образованию россыпей предшествовала длительная эпоха интенсивного выветривания, способствовавшего высвобождению кварца, превращению полевых шпатов в глины, полному растворению темноцветных минералов, содержащих железо. Из толщ кор выветривания нужно взять пробы для пылецевого анализа. Эти отложения часто содержат пыльцу теплолюбивых растений, свидетельствующих о существовании здесь в период образования кор выветривания теплого климата. То, что в современном ландшафте есть участки древнего пенеplена, указывает на глубокий срез геологических структур и высвобождение полезных ископаемых из вмещающих коренных пород.

Такие участки древних поверхностей выравнивания с элювиальными россыпями лучше сохраняются в понижениях внутренних частей междуречий, которые захватываются молодыми эрозионными циклами в последнюю очередь. Они известны для золотоносных районов северо-востока СССР, увалисто-холмистой равнины Северного и Среднего Урала, Енисейского края, Кузнецкого Алатау и многих других районов.

Присутствие в аллювиальных отложениях современных и древних долин материала перемытой коры выветривания свидетельствует о том, что после ее образования происходил размыв. Обилие в аллювии рек окатанной гальки жильного кварца часто указывает на то, что при накоплении рыхлой аллювиальной толщи эрозией были захвачены обширные площади, так как кварцевые жилы обычно маломощны и не занимают больших объемов в окружающих геологических образованиях.

Глубокий и полный размыв поверхностей выравнивания неблагоприятен для последующей концентрации полезных минералов россыпей в долине реки. О значительном размыве кор выветривания и рассеивании содержащихся в них тяжелых минералов может свидетельствовать отсутствие поверхностей выравнивания и нали-

чие в русловых отложениях нестойких минералов кор выветривания. Полная сохранность поверхностей выравнивания, связанная со слабым или начальным размывом коры выветривания, также отрицательно сказывается на образовании россыпей в долинах рек. В современном ландшафте оптимальный для образования россыпей размыв умеренной силы устанавливается по расчленению денудационных поверхностей четкими, но не резкими и не очень глубокими долинами, по небольшой переработке денудационных поверхностей во вторичные склоны умеренной крутизны и другим подобным признакам.

По сравнению с интенсивно эродированной центральной горной грядой Уральского хребта и Зауральским предгорьем увалисто-холмистая равнина Предуралья, длительное время покрытая мощным чехлом коры выветривания, подвергалась умеренному размыву. Это обстоятельство главным образом и обусловило хорошую сохранность здесь коренных месторождений золота в породах палеозоя, небольшую глубину их эрозионного среза и многочисленные россыпные месторождения. В центральной части Уральского хребта сильный размыв уничтожил месторождения золота.

При размыве кор выветривания почти все содержащиеся в них ценные минералы и металлы по пути к реке дополнительно высвобождаются из коренных пород. На склонах долин, главным образом под влиянием эрозионно-гравитационных процессов мелкие обломки перемещаются и образуют делювиальные россыпи. В связи с выносом из кор выветривания в первую очередь тонкого и легкого материала объем вмещающих полезный компонент рыхлых масс сокращается. Это приводит к повышенному содержанию в россыпи тяжелых фракций, т. е. к ее естественному обогащению.

Таким образом, восстанавливая ход развития рельефа, прежде всего необходимо выявить благоприятное сочетание условий для формирования россыпей: интенсивный процесс выветривания и последующий размыв кор выветривания, способный стянуть значительную часть тяжелых минералов россыпи в долины рек.

Гидрологические и геоморфологические условия концентрации современных русловых россыпей. Продукты размыва кор выветривания вместе с другим рыхлым материалом поступают в долины ближайших рек. Водный

поток сортирует обломочный материал по гидравлической крупности. Этот процесс переноса и сортировки материала водным потоком происходит под влиянием внешних и внутренних причин. Внешние факторы — морфология долины и русла, свойства водного потока, геологическое строение ложа реки; внутренние — минералогический состав, удельный вес полезных минералов, форма их зерен, размеры, твердость, степень устойчивости. По сравнению с корой выветривания аллювиальная россыпь содержит в основном материал крупных и средних фракций. Тонких частиц размером 0,006 мм, по данным И. И. Гинзбурга и Г. В. Писемского, в аллювиальной россыпи содержится 12,4%, а в коре выветривания — 70—90%. Большая часть аллювиального золота, вымытого из коры выветривания, имеет размеры частиц менее 0,1 мм.

Поиски современных русловых россыпей сводятся в основном к решению главной задачи — определению мест их промышленной концентрации. Это требует изучения очень большого и сложного комплекса вопросов: гидродинамических свойств водного потока, физико-химических свойств тяжелых минералов, металлов, закономерностей распределения тяжелой фракции в поперечном и продольном профиле долины, современной морфологии долины, климатических условий ее развития и многих других вопросов. Рассмотрим вначале некоторые особенности распределения россыпей по продольному профилю реки, для того чтобы сразу же определить районы их возможной и наибольшей концентрации.

Распределение россыпи по продольному профилю долины зависит от благоприятного сочетания уклонов ложа долины, гидродинамических свойств потока и миграционной способности минералов тяжелой фракции. При прочих равных условиях и одном источнике поступления в долину реки тяжелой фракции оптимальные условия для концентрации россыпей создаются в верховьях рек на расстоянии 8—10 км от коренного источника. В верховьях рек, особенно достигших профиля равновесия, чаще формируются пространственно ограниченные россыпи из крупных частиц тяжелых металлов — золота и платины. Для рек протяженностью до 40 км при одном и том же источнике питания, расположенном на склоне долины или на водоразделе, максимальное количество

звободного золота фракции 0,5 мм и крупнее концентрируется на расстоянии в среднем 0,7—1,5 км от этого источника. При этом протяженность промышленной части россыпи не превышает 3 км (Е. З. Горбунов, 1965). Даже из верховий горных рек с невыработанным профилем равновесия и значительным размывом золото при грубом галечниковом составе аллювия сносится вниз по долине очень мало.

Вместе с золотом в верховьях долины встречаются и россыпи менее стойких металлов, например касситерита, не выдерживающих длительной транспортировки. По сравнению с россыпями золота аллювиальные россыпи касситерита имеют значительно меньшую протяженность и вообще не встречаются в низовьях рек. При уклоне ложа реки в 0,001 основная россыпь касситерита в районе Шерловой горы (Забайкалье) тянется на расстоянии 5 км от коренного месторождения, а при еще меньшем уклоне протяженность ее равна всего лишь 0,5—1 км. На северо-востоке СССР максимальные концентрации касситерита приурочены к участкам речных долин, которые располагаются сразу же ниже переломов в продольном профиле. Совместное нахождение с золотом еще менее стойких минералов — вольфрамита, шеелита, сфалерита и других — свидетельствует о близости их коренных источников. Таким образом, в верховьях речной долины обычно концентрируются россыпи металлов с малой миграционной способностью, т. е. твердые и мягкие, но главным образом тяжелые металлы*.

Максимальное количество влекомых наносов идет обычно не посередине реки, а ближе к ее высокому берегу, т. е. по стрежню (рис. 6). Часто движение наносов совершается в пределах узкой полосы русла (жильное движение), что обуславливает струйчатое строение россыпи.

Возможность и дальность переноса рекой твердых частиц при данной скорости течения зависит от устойчивости и других физико-механических свойств минералов, слагающих россыпь. Алмазы благодаря исключительной твердости и небольшому удельному весу (в пять раз

* Миграционная способность шлиховых минералов — это максимальное расстояние, на которое данный минерал может быть перенесен потоком.

меньшему по сравнению с золотом) без особых изменений переносятся на сотни километров от коренного источника. Известно, что из Трансвааля алмазы переносятся по р. Оранжевой до побережья Юго-Западной Африки на расстояние до 800 км и разносятся вдоль побережья Атлантического океана еще на 300 км. Следует отметить, что в аллювии некоторых рек Сибири обнаруживается значительное количество обломков кристаллов

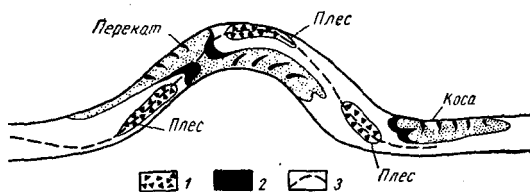


Рис. 6. Схема, иллюстрирующая распределение тяжелой фракции в русловом аллювии (по Н. В. Разумихину, 1961):

1 — тяжелые минералы крупных классов (пластовый металл), 2 — тяжелые минералы мелких классов (косовой металл), 3 — линия стрежня

алмаза. Так как удельный вес его лишь немногим больше удельного веса сопутствующих ему в россыпях минералов и обломков горных пород, то это препятствует обогащению алмазами отдельных участков россыпей, как это бывает у золота.

Интересные исследования по распределению тяжелых минералов по продольному профилю реки провел Д. Вертц (1949) на россыпных месторождениях бассейна р. Конго. Он установил, что в русловых россыпях продуктивные и непродуктивные участки чередуются в логарифмической последовательности в связи с тем, что продольный профиль реки также стремится к кривой логарифмического вида. Вниз по течению реки сокращаются расстояния между площадями концентрации россыпей, уменьшается удельное содержание полезного ископаемого, но увеличиваются концентрации тяжелых минералов (рис. 7).

Еще более сложно распределение тяжелой фракции в поперечном сечении русла. Из трех основных видов перемещения наносов — волочение по дну, перекатывание и движение во взвешенном состоянии — для образования

россыпей наиболее важно волочение, во время которого тяжелые и наиболее крупные частицы скользят и прыгают по дну (сальтация). Самые мелкие и легкие частицы шлиховых минералов, например чешуйки и пыль золота, могут переноситься во взвешенном состоянии. Из

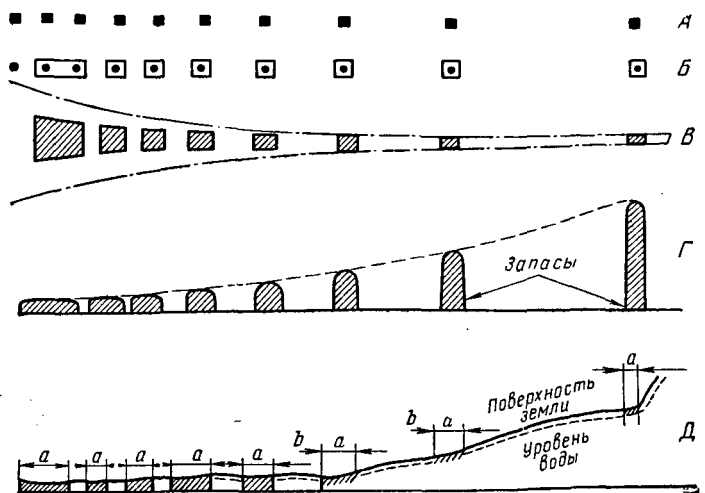


Рис. 7. Обобщение результатов поисков площадей концентрации тяжелых минералов в аллювиальных россыпях (по Д. Вертцу, 1949):

А — центры действия размывов в плане (участки с максимальной скоростью течения воды), *Б* — площади концентрации в плане, *В* — положение этих площадей в долине (карта), *Г* — график, показывающий теоретическое распространение запасов (содержание на единицу объема) по ординате и объему участков по абсциссе, *Д* — профиль реки с чередованием богатых и непродуктивных площадей и положение уровня воды: *а* — площади концентрации тяжелых минералов, *б* — непродуктивные площади

материала, переносимого во взвешенном состоянии, формируются также пойменный и старичный аллювий, не содержащие россыпей. Таким образом, в самом процессе переноса рыхлой толщи обособляются два слоя, как бы отражающие строение будущей россыпи: внизу — обогащенные тяжелыми частицами металлов и минералов «пески», сверху — бедные или вообще пустые «торфа».

Такое деление тела россыпи в целом сходно с предлагаемым И. П. Карташовым и Н. А. Шило (1960, 1965) делением пластовых россыпей на плотиковые и надплотиковые. Плотиковый аллювий русловой фации начинает формироваться в период врезания русла. В это время в аллювий поступают обломки коренных пород, а также глинистые частицы пойменного аллювия (из-за отсутствия поймы), в связи с чем плотиковый аллювий приобретает главным образом грубообломочный и щебнисто-галечниковый состав, свойственный горным и полугорным рекам. Плотиковой разновидности руслового аллювия свойственны значительные концентрации тяжелых фракций, особенно золота и платины в основании толщи и в трещинах плотика. Образующиеся здесь концентрации богаты по содержанию, значительны по размерам и выдержанности. Е. В. Шанцер (1965) предлагает называть плотиковые россыпи благородных металлов русловыми россыпями остаточной концентрации.

Несмотря на длительный и многократный перемыв аллювия, россыпи этих металлов из-за их малой миграционной способности сохраняют свое положение в долине реки. Но удельное содержание тяжелой фракции в нижних горизонтах продуктивных отложений пропорционально интенсивности процессов перемыва, который наступает в период высоких половодий. Чередование половодий и межень приводит к чередованию продуктивных и пустых горизонтов аллювиальной толщи*. Более легкие металлы и минералы в плотиковом аллювии обычно не дают промышленных скоплений.

Надплотиковый, или покровный, аллювий формируется в процессе аккумуляции, которая наступит там, где из-за уменьшения уклона ложа реки или водности потока уменьшается его живая сила. Этот процесс завершается длительным динамическим равновесием, в период которого река перемыкает верхние горизонты аллювия. При этом мелкий материал выносится в пойменные и старичные фации, а крупный сортируется и окатывается. Надплотиковые россыпи редко содержат богатые, промышленного значения россыпи, однако для них характерно присутствие косовых россыпей, концентрирующихся в верхнем горизонте руслового аллювия. В отличие

* «Основы поисков россыпей», Изд-во ЛГУ, 1961.

от плотиковых косовые россыпи образуются из частиц полезного ископаемого, перемещенных на значительное расстояние.

Распределение россыпей в поперечном сечении русла определяется также физико-химическими свойствами составляющих их металлов и минералов. Золото и платина, как уже отмечалось, концентрируются у плотика, более легкий касситерит растягивается в пласте аллювия большей мощности. Продуктивный пласт монацита из-за плоской и вытянутой формы зерен и относительно небольшого удельного веса чаще концентрируется в средней части тела россыпи. Так как удельный вес алмаза лишь очень немногим больше удельного веса сопутствующих ему в россыпях минералов и обломков горных пород и кристаллы его не смачиваются водой, то это препятствует обогащению алмазами отдельных участков аллювиальных россыпей. По ширине речного потока в соответствии с распределением скоростей в нем и морфологией русла выделяются стрежневая и прибрежная зоны, отличные по условиям накопления тяжелой фракции. В стрежневой зоне потока скапливаются тяжелые и крупные частицы полезных ископаемых, а в прибрежной зоне преобладают процессы разубоживания и накопления мелкозернистых фракций с незначительным содержанием тяжелых металлов.

Места концентрации россыпей. Когда в русле реки нарушаются соотношения между его уклонами, водностью потока и количеством переносимого материала, то начинается размыв или аккумуляция рыхлых осадков. В целом концентрации тяжелых минералов в речном русле способствуют процессы размыва рыхлых отложений, так как в это время идет их усиленная гравитационная сортировка — вынос легких и мелких фракций и обогащение остаточного аллювия тяжелыми частицами. Но это не значит, что тяжелая фракция концентрируется лишь в стадию врезания реки, скорее наоборот, этот процесс более свойствен аккумуляющей реке, когда тяжелые компоненты скапливаются на участках преобладающего размыва. Нередко участки местного размыва непосредственно приурочиваются к некоторым частям русловых аккумулятивных форм рельефа. Весной тяжелая фракция скапливается на плесах, где в центральной и хвостовой части преобладают большие скорости тече-

ния. В это время на перекатах идет аккумуляция и тяжелые минералы обогащают их головную часть и подвалы, откуда выносятся более легкая фракция.

В местах массового осаждения наносов в русле реки формируются различные аккумулятивные образования — отмели, осередки, косы, русловые валы, заструги и т. д. Подобные накопления аллювия, содержащие тяжелую фракцию, служат объектами поисково-разведочного опробования и промышленной эксплуатации.

Косы и свойственные им косовые россыпи обычно располагаются несколько ниже выпуклого берега, где в верхней части продуктивной толщи аккумуляруется мелкая фракция. Считается, что наиболее обогащенные участки косы расположены в ее головной и центральных частях, однако косы, подверженные регрессивному переформированию, могут обогащаться и в своей хвостовой части.

Обогащению отдельных участков русла полезными ископаемыми могут способствовать также карстовые воронки, трещины, структурные уступы, валуны, глыбы и другие неровности микрорельефа дна реки. На обогащение же кос и островов могут влиять растительный покров (главным образом в межень), деятельность речного льда, циркуляция почвенных вод, эоловые процессы и т. п.

Места концентрации тяжелой фракции должны обязательно определяться с учетом режима водного потока, который может нарушать отмеченные закономерности. Например, при глубине водного потока 0,2 м увеличение его скорости всего лишь с 0,8 до 1,0 м/сек ведет к укрупнению передвигаемых им наносов с 3 до 8 см в поперечнике, т. е. в условиях данной глубины и при обычном для аллювия удельном весе (2,65) прирост диаметра частиц в несколько раз больше, чем прирост скорости передвигающего их потока. Эта разница тем больше, чем меньше глубины и чем больше скорости течения реки, что и способствует значительному переформированию рыхлых отложений и рельефа русла.

Скорость потока определяется не только общими геотектоническими и климатическими факторами, но и связана с местными геологическими и геоморфологическими особенностями русла и долины реки: размером и формой донных отложений, степенью шероховатости дна, харак-

гером подводной растительности, уклонами долины, по-
ложистостью русла, характером и расположением про-
гоков и т. п.

Для уяснения процесса концентрации тяжелой фрак-
ции следует определить источники поступления рыхлого
материала в русло реки. Решение этой задачи возможно
путем анализа рыхлых отложений, особенно определе-
ния степени окатанности галечникового материала, а
также гранулометрического и петрографического соста-
ва пород.

Хорошая окатанность гальки твердых пород свиде-
тельствует обычно о длительности обработки и дально-
сти ее переноса. Однако эта закономерность часто нару-
шается поступлением в современный русловой аллювий
уже ранее окатанных галек из аллювиальных, озерных
и других отложений более старого возраста. Поэтому
особенно важно расчленение рыхлой толщи по признаку
дальности источника поступления материала в русло рек.
Часть материала может поступать в реку по крупным
притокам с далеко лежащих водораздельных простран-
ств, другая часть — из мелких притоков и оврагов, раз-
мывающих отложения ее террас, и, наконец, из перемы-
тых русловых отложений той же реки. В некоторых слу-
чаях пробы из русловых отложений главной реки дают
резкое повышение процента окатанных галек. Это бы-
вает связано с выносом их из притоков (рис. 8). Если
притоки короткие, с крутым профилем и быстрым тече-
нием, то хорошую окатанность гальки можно объяснить
размывом более древних галечников и конгломератов.
Увеличение процента окатанности галек часто совпадает
с повышенным выходом шлиха, что и побуждает в дан-
ном случае направлять поиски в долину притока. Такие
участки долин нередко служат источниками питания
шлиховыми минералами речных перекаатов и кос.

Возможности местного обогащения русла реки нано-
сами должны оцениваться с учетом природных особен-
ностей района. Например, известно, что в бассейне Ви-
люя из 250 мм среднегодового количества осадков более
150 мм приходится на период положительных средних
температур, и поэтому мощность снежного покрова здесь
очень незначительная. Интенсивная солнечная радиация
приводит к тому, что весной, даже в период отрицатель-
ных температур, 85—90% снега испаряется, не переходя

в жидкое состояние. Часть талых вод впитывает густой моховой покров, и лишь незначительная часть поступает в овраги. Но и здесь водотоки не производят большой работы, так как к моменту таяния снега почва еще на-

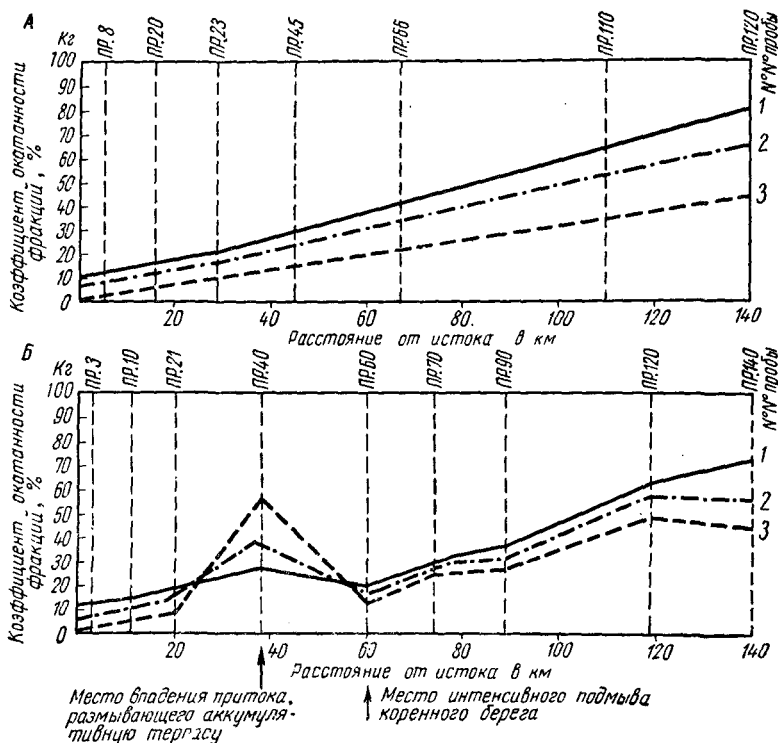


Рис. 8. Типы графиков изменения окатанности галек по продольным профилям рек:

А — при преобладающем продольном перемещении галек, Б — при пополнении аллювия за счет бокового сноса и привноса галек притоками:

1 — фракция — 25+16, 2 — фракция — 50+25, 3 — фракция — 100+50

ходится в промерзшем состоянии. Кроме того, некоторые овраги долины Вилюя заложились в местах подмыва рекой глыб ископаемых льдов. Такие овраги при незначительном протяжении имеют очень широкие устья и днища, где и откладывается значительная часть наносов.

Большое значение в питании Вилюя местным рыхлым материалом имеют постоянные ручьи — притоки, но если такие притоки и обогащают наносы реки тяжелой фракцией, то только из неширокой полосы долины Вилюя, так как длина притоков чаще всего не превышает 2—5 км. Существенным источником питания реки наносами служат также обвалы грунта с бровок террас. Этому способствуют морозобойные трещины, имеющие на том же Вилюе очень широкое распространение.

По условиям концентрации тяжелых минералов при проведении ситового и шлихового опробования выделяют следующие основные морфологические типы долин.

1. Большие, старые, хорошо разработанные пойменные долины с пологим продольным профилем, которые редко содержат крупные промышленные россыпи. Здесь происходит главным образом перенос тонких и легких фракций. Косовые, русловые и пойменные россыпи имеют обычно низкое содержание полезного ископаемого, пригодного лишь для дражной отработки. Так как тяжелые минералы концентрируются в нижних частях донных отложений, вполне естественно, что шлиховое и ситовое опробование русловых форм рельефа не дает здесь хороших результатов, и в этом случае на дне русла и в террасах долины необходимы глубокие копуши и шурфы.

2. Узкие V-образные и каньонообразные долины с крутым продольным и поперечным профилем малоперспективны, так как полезное ископаемое выносится здесь быстрым потоком. Если образуется россыпь, то она имеет небольшую ширину и сильно валуниста. Наиболее надежные результаты дает опробование русловых форм рельефа мелкими копушами.

3. Небольшие по длине и ширине долины, нередко содержащие богатые пойменные, русловые, косовые и террасовые россыпи. При условии равного поступления минерала в реку с более узким руслом на единицу объема песков образуются относительно более богатые россыпи (в узком русле через единицу площади поперечного сечения проходит больше наносов, чем в широком). Таким образом, несмотря на абсолютное богатство россыпей в крупных реках, россыпи мелких рек часто более обогащены тяжелой фракцией. С таким положением геологам-разведчикам приходится сталкиваться в бас-

сейнах некоторых сибирских рек, где выгоднее эксплуатировать россыпи притоков, чем россыпи главной реки.

4. Пологие лога, пересекающие древние террасы. После перемыва древнего аллювия здесь часто обнаруживаются небольшие, но богатые переотложенные «ложковые россыпи». На Урале для ложковых алмазных россыпей благоприятны глубины вреза логов от 40—50 до 80—90 м. При большем врезе лога приобретают крутой тальвег, лишенный аллювия, при меньшем — он заполняется делювием.

Россыпи террас и «увалов». Террасы реки часто содержат россыпи промышленного значения и изучаются прежде всего с точки зрения генезиса террас (разведчиков интересуют аккумулятивные и цокольные террасы) и положения плотика. Морфологическими признаками глубины залегания плотика могут быть одинаковая глубина вреза оврагов, прорезающих террасу, их плоскодонный поперечный профиль, развитие висячих оврагов с одинаковой высотой уступа. Такие овраги, не достигая основания уступа террасы, задерживаются на коренном цоколе. Если на террасе есть озера с уровнем воды на высоте уреза реки, то можно предполагать, что плотик террасы находится ниже уреза реки. Часто плотик выделяется на склонах террасы структурной ступенью, что зависит прежде всего от деструкционной устойчивости слагающих пород.

Изучение густоты и глубины расчлененности террас позволяет судить об относительной обогащенности полезными компонентами аллювиальных отложений террас и прорезающих их логов. Если террасы слабо размыты и прорезающие их овраги еще не углубились до коренного цоколя, то террасовые россыпи могут быть богаче современных русловых россыпей, особенно в случае развития террас по одному из бортов долины. Другой борт, подрезаемый рекой, служит источником поступления в реку грубого материала, который разубоживает современную россыпь.

Там, где в верховьях долин развиты поверхности выравнивания, промышленный интерес представляют пологие делювиальные склоны, россыпи которых называют «увальными». Такие склоны в верхней части обычно сложены коренными породами, а в нижней — аллювием или аллювиально-делювиальными отложениями. Деление

«увалов» на коренные и аллювиальные, по мнению М. В. Пиотровского, — наиболее важная часть исследования при установлении картины распределения «увальных» россыпей. Аллювиальные «увалы» имеют слабые перегибы склонов, соответствующие этапам врезания долины, поэтому отчленение их от коренных «увалов» по морфологическим признакам довольно сложно. Легче выделить аллювиальные «увалы» по характеру растительности — заболоченным участкам, марям, очень редкому лесу. В излучинах аллювиальные «увалы» приурочены к склонам отступления и часто сливаются с поймой. Вниз по течению ровные «увалы» переходят в террасированные, с которых проще начинать изучение «увальных россыпей», так как здесь легче устанавливаются стратиграфические соотношения аллювия разного возраста и террас.

Перестройка гидрографической сети и образование россыпей древних долин. Образовавшаяся в русле реки россыпь, как правило, претерпевает длительное развитие. По мере углубления и расширения долины россыпь может оказаться в составе пойменной террасы, высоких террас (поднятые аллювиальные россыпи), быть погребенной под толщей рыхлых аллювиальных или ледниковых отложений (погребенные россыпи), оставаться в стороне от нового русла, размываться морем, выпахиваться ледником, вновь перемываться рекой и опять попадать в состав руслового аллювия. Примером могут служить погребенные россыпи Бодайбо, Баргузина, Енисейского края, прибрежные россыпи Номы, высокие галечники Клондайка, погребенные под базальтами россыпи Калифорнии, аллювиальные россыпи Восточной Австралии. Установлено, что в Сибири наиболее богатые позднечетвертичные аллювиальные россыпи сформировались при неоднократном перемысле верхнемеловых, неогенпалеогеновых и древнечетвертичных отложений конгломератового и галечникового состава, имеющих большое площадное распространение и слабый диагенез. Так образовались многие россыпи Ленского района, Зейской равнины, а также россыпи Африки, Южной Америки, Индии.

Многочисленный переыв россыпей способствует удалению полезных минералов от коренного первоисточника. Это приводит к пространственной и возрастной разобщенности коренных и россыпных месторождений одного

и того же полезного ископаемого, затрудняет его поиски и обуславливает очень сложное строение россыпи.

Одним из распространенных приемов расшифровки закономерностей размещения древних аллювиальных россыпей служит геоморфологический анализ перестройки древней речной сети и строения самих долин.

Критическое время в истории формирования россыпей — это период перестройки речной сети, обусловленный тектоническими движениями, оледенением и другими процессами. Особенно существенные перестройки гидрографической сети были в периоды, следующие за образованием пенеплена и коры выветривания. Даже небольшие неравномерные тектонические подвижки могли вызвать в этих условиях формирование новой гидрографической сети, в которую ценные компоненты могли поступать или не поступать, оставаясь захороненными в древних долинах.

При восходящих тектонических движениях, как известно, происходят размыв, вынос рыхлого материала и углубление долин. Процесс размыва важен для вскрытия коренных источников полезных ископаемых и поступления добавочного материала в состав россыпи, а также перемещения вниз аллювия прежнего эрозионного цикла. Размыв и углубление речных систем могут привести к перехватам речных долин, образованию новых террас, а также мертвых сухих участков долин. В современном морфологическом ландшафте сухие мертвые долины чаще всего обнаруживаются на уровне высоких древних террас, на высоких денудационных плато, на междуречьях, поэтому россыпи, встречающиеся в этих долинах, часто называют россыпями «поднятой» гидрографической сети. Такие россыпи известны во многих горных районах СССР, особенно в Сибири, где они лежат в древних долинах на междуречьях и склонах Енисейского и Салаирского кряжей, Кузнецкого Алатау, Патомского нагорья, Лено-Вилуйской впадины и в других районах. Россыпи древних поднятых долин нередко служат источником обогащения россыпей современной речной сети.

Время образования древней «поднятой» долинной сети для большинства районов Сибири датируется палеогеновым возрастом отложений. Выявление в современном рельефе долины такой давности очень сложно, так как с того времени рельеф и рыхлый покров значительно из-

менились. Так, в Сибири установлены значительные поднятия в конце неогенового и начале четвертичного времени, вызвавшие перестройку речной сети. Врезавшиеся долины современных рек во многих местах пересекли древние долины и расчленили их на отдельные участки. Кроме того, тектонические движения разобщили участки одной и той же долины на различные гипсометрические уровни, а процессы выветривания замаскировали первичное стросние аллювиальных отложений. Остатки древних «поднятых» долин представляют сейчас широкие, очень пологие, сильно заболоченные понижения. На водоразделе Вилюя и Лены остатки древних долин представлены ясно ориентированными понижениями с озерами, болотами и соединяющими их травянистыми реками.

За древние долины часто принимают различные денудационные понижения, которые обычно не содержат россыпей, поэтому практически важны морфологические признаки настоящих древних эрозионных долин, а именно: изгибы, напоминающие меандры, террасы, переход понижения из пород одного состава в породы другого состава, относительно плоское дно понижений, общий уклон понижения в одном направлении. В таких понижениях ценны находки древнего аллювия, который отличается глинистым составом, большим содержанием гальки устойчивых пород, минералов и металлов в шлихах, а также сцементированностью окислами железа, известью и кремнеземом.

В таежных районах Сибири древние долины иногда выявляются по снижению уровня крон деревьев, большой густоте, темному фону леса на аэрофотоснимках, а также по различию растительного покрова на коренных породах и рыхлых аллювиальных отложениях.

Устойчивый процесс аллювиальной аккумуляции, например, в условиях тектонического опускания или изменения климата и связанной с этим частой повторяемостью низких половодий, а также процессы ледниковой и другой аккумуляции могут приводить к заполнению долинной сети рыхлым материалом. В этот период в связи с блужданием русел долины значительно расширяются, размываются пойменные, террасовые, делювиальные россыпи и за их счет значительно обогащаются русловые. По мере расширения долин и увеличения в них

мощности аллювия россыпи опускаются все глубже и переходят в погребенное состояние.

Различают два типа погребения долин — частичное и сплошное (М. В. Пиотровский). При частичном верхние части склонов древних долин остаются непогребенными и современные долины наследуют древние, совмещаясь в одной вертикальной плоскости. Совмещение долинной сети особенно характерно для межгорных котловин южных окраин Сибирской платформы, где повторные тектонические нарушения по одним и тем же линиям обусловили наложение участков верхнемеловой, неоген-палеогеновой и древнечетвертичной гидрографической сети. Но этот процесс возможен и без активных тектонических перемещений в том случае, если развитие долины в сторону сдерживается плотными породами их бортов.

Выявление совмещенных участков речных долин имеет большое значение в поисках россыпей, так как здесь может концентрироваться полезное ископаемое. В пределах таких участков долины важно уточнить возможное положение погребенных тальвегов. Для этого необходимо: оконтурить границы отложений, погребаяющих долины, и определить их генезис; на погребенных склонах проследить террасы, изгибы склонов; найти эпигенетические участки современных долин, врезанные в погребенные коренные склоны и в аккумулятивную толщу. Для определения положения погребенного тальвега необходимо установить высоту цоколя в бортах современной долины. Древний погребенный тальveg будет располагаться в стороне от борта современной долины с более низким положением цоколя, т. е. в направлении его уклона. В тальвегах древних погребенных долин часто концентрируются богатые русловые россыпи.

Длительный процесс аккумуляции приводит к заполнению аллювием водораздельных понижений и полному погребению долин. От прежнего рельефа остаются лишь острова водораздельных пространств. Такое выполаживание создает широкие возможности для разливов рек, стока через пониженные части коренных водоразделов в соседние долины и многочисленных пассивных перехватов долин. Формируются обширные аллювиальные равнины со сложным древовидным рисунком гидрографической сети. Блуждая по ровной аккумулятивной поверхности такой равнины, реки далеко (на 30—60 км)

отходили от своих погребенных долин, как, например, Амур, Зея, Селсиджа. В таких долинах Бодайбинского района, северной части Кузнецкого Алатау, Южного Урала, северо-восточного Прибайкалья, Казахстана россыпи вскрываются на глубинах от 20 до 60 м и более.

В период захоронения гидрографической сети к еще более существенным перестройкам речных долин приводят местные тектонические подъемы, вызывающие подпруживание потока и эпигенетическое врезание речных долин. Рядом с древней погребенной долиной образуются новые, резко врезанные эпигенетические участки. Явление эпигенеза широко распространено во многих золотопромышленных районах СССР, и в поисково-разведочной практике такие участки получили название «сдвоенных». При плоском рельефе аллювиальных равнин эпигенетические участки могут располагаться в десятках километров от древней погребенной долины той же реки. В иных же случаях это расстояние сокращается до нескольких сот метров, и тогда между старым и новым руслом хорошо виден водораздел из коренных пород.

Узкие, порожистые эпигенетические участки долины тянутся иногда на десятки километров. Сдваивание долин широко распространено в бассейне реки Большой Патом, особенно в ее низовьях за пределами области оледенения, в центральной части баргузинской тайги, на Алтае, по долине Чуи и во многих других местах. В бассейне Зеи сдваивание рек было связано с аккумуляцией в неогенное и среднечетвертичное время, создавшей плоские и широкие долины, в пределах которых блуждали реки, и врезанием современных рек в отложения неогена. Многие эпигенетические участки современных долин Зейско-Буреинской равнины отклоняются от своих старых долин, погребенных под покровом неогена, на 50—150 км.

Эпигенетическое врезание долин и образование сдвоенных участков можно объяснить не только режимом колебательных движений, но и местными гидрологическими и геоморфологическими причинами. Благоприятные условия для появления сдвоенных участков долин могут создаваться при быстрой аккумуляции и повышении ложа рек, вызывающих постепенное смещение русла на более низкий уровень; при разливе рек на плоской равнине, когда водоток стекает через пониженные части меж-

дуречий в соседнюю долину; в случае спрямления водотока после прорыва шейки меандра; при выходе горной или полугорной реки на равнины предгорий, когда благодаря резкому падению скоростей происходит массовое отложение наносов и блуждание реки; при подпруживании реки ледниковыми наносами и прорыве потока в стороне от запруды.

Сдваивание долин обуславливает струйчатое строение россыпи. При наличии погребенного и эпигенетического участков богатство древней погребенной россыпи зависит от положения современной долины по отношению к древней. Если современные долины лежат выше ложа древних металлоносных долин, то это свидетельствует о сохранности древних россыпей. Если же днища современных долин лежат на уровне или ниже днищ древних долин, то многие из древних россыпей могут быть уничтожены, перемыты и включены в состав современных косовых и русловых россыпей. В таком случае наибольшая сохранность древних россыпей будет при относительно устойчивом горизонтальном положении современной долинной сети или при ее одностороннем горизонтальном перемещении. На участках совпадения и врезания современной долины в отложения древней долины в последней россыпь может сохраняться частично, в виде террасовой. В погребенных долинах при промышленной добыче россыпей неблагоприятна также большая мощность вскрышных пород, перекрывающих продуктивную толщу. В эпигенетических участках чаще имеется только русловая россыпь, образовавшаяся за счет приноса тяжелых минералов с вышележащих частей долины.

Методика геоморфологического изучения древних погребенных россыпей почти не разработана, и в настоящее время можно указать лишь на отдельные возможные приемы таких исследований. В целом геоморфологические наблюдения при поисках погребенных россыпей сводятся к выявлению по прямым и косвенным признакам частей древних долин и водоразделов на дневной поверхности. Эти исследования сопровождаются анализом мощностей осадков, покрывающих погребенную поверхность. Возраст долин определяется палеонтологическими методами, а также методом фациальных переходов, возрастных рубежей, коррелятных отложений.

На положение древних долин могут указывать прежде всего площади аккумулятивных отложений, расположенные в обширных понижениях коренного рельефа. По окраинам этих площадей нередко останцы коренных пород — наиболее высокие вершины погребенных водоразделов. Между ними обычно и лежат вершины погребенных долин. Определение местоположения последних особенно важно потому, что именно здесь при сравни-

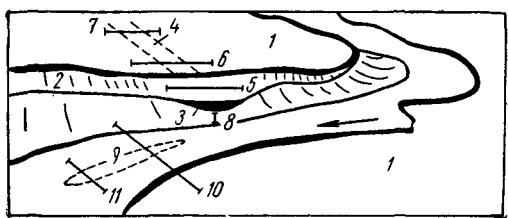


Рис. 9. Поиски погребенной россыпи (по М. В. Пиотровскому):

1 — неогеновая аллювиальная равнина, 2 — уступ размытого неогенового покрова, 3 — понижение коренного цоколя равнины — погребенная палеогеновая долина, содержащая россыпь и эпигенетически пересеченная современной долиной, 4 — продолжение погребенной россыпи, 5 — поисковая линия 1-й очереди на погребенную россыпь, прошедшая через основание уступа неогенового аллювия, 6 — поисковая линия 2-й очереди на погребенную россыпь, 7 — поисковая линия 3-й очереди, укороченная, так как заложена на продолжении уже наметившейся россыпи, 8 — поисковая линия для установления сноса тяжелых фракций из погребенной долины, 9 — четвертичная россыпь, образовавшаяся за счет перемыва палеогеновой, 10, 11 — поисковые линии на четвертичную россыпь

тельно пологом профиле равновесия древних долин (долины, как правило, погребаются в стадии деградации речной сети) можно ожидать концентрации россыпей.

Много ценных данных о положении погребенных аллювиальных россыпей дает изучение современных долин, в частности картирование эпигенетических участков долин, врезанных в погребенные междуречья; фиксация в бортах современных долин выходов древнего цоколя, его максимальных и минимальных высот, продольных уклонов и направления понижения; картирование расширенных и переуглубленных участков современных долин, которые часто образуются при пересечении древних долин современными реками; определение общей тенден-

ции перемещения русел в современных реках (устойчивое одностороннее перемещение русел указывает на то, что погребенные долины следует искать на той стороне, где наращивается берег); сопоставление геоморфологических данных современных долин с внешними ландшафтными признаками погребенных долин — удлинненными понижениями рельефа с редкой древесной растительностью, марями; скоплениями гидролакколитов. На рис. 9 показан один из приемов поисков погребенной донеогеновой россыпи.

О существовании древней долины иногда можно судить и по неравномерной концентрации металла в русловой россыпи современной долины. Чередование богатых и бедных участков, полное отсутствие металлонности и появление ее вновь часто означают, что русловая россыпь образована за счет размыва более древней, пересекаемой современной рекой.

Устанавливая такими приемами некоторые черты погребенного рельефа и его связь с современным рельефом, можно получить представление об общем характере высот погребенной поверхности, направлении стока, сохранности, расположении погребенных долин и древних россыпей.

Роль тектонических движений в формировании и сохранении россыпей. Неравномерные колебательные тектонические движения влияют на глубину эрозионного среза рудных месторождений, пространственное и гипсометрическое положение разновозрастных россыпей, степень сохранности и строение золотоносных пластов. В районах длительных и больших тектонических поднятий коренные золоторудные месторождения обычно глубоко эродированы, древние золотоносные россыпи отличаются плохой сохранностью, а аллювий современных долин — значительной обогащенностью тяжелой фракцией. Большие и редкие тектонические движения вызывают размыв в долине реки, вынос легких фракций и обогащение руслового аллювия тяжелыми компонентами. В то же время в долину реки поступает много свежего пустого обломочного материала, который сильно разубоживает россыпи низких террас. Низкие террасы обогащаются тяжелой фракцией, и их россыпи лучше сохраняются в условиях слабых тектонических поднятий. По-видимому, в каждом отдельном случае необходим анализ не только

всей общей, но и местной тектонической, геоморфологической и гидрологической обстановки. Но в целом тектонические движения больших амплитуд и больших скоростей неблагоприятны для формирования и сохранения россыпей. Такие движения приводят к многократным и крупным перемещениям русел рек на большие расстояния в вертикальном и горизонтальном направлениях, что создает значительную расчлененность даже одновозрастных россыпей, залегание их на различных гипсометрических уровнях и невыдержанность, различную сохранность и обогащенность. Все это чрезвычайно затрудняет поиски, разведку и промышленную разработку полезного ископаемого.

Для образования устойчивых и промышленно ценных россыпей наиболее благоприятны медленные колебательные движения, с которыми связано поднятие крупных положительных и отрицательных структур. В этом случае происходит многократный перемыв и пересотложение золота и образование многоярусных наложенных россыпей в совпадающих долинах современных и древних рек. На территориях, испытывающих медленные погружения, хорошая сохранность россыпей обеспечивается под толщами перекрывающих их рыхлых отложений.

Благоприятны для формирования россыпей районы сочленения неотектонических областей, где более древние россыпи глубоко прорезаны современной долинной сетью. Здесь широко представлены террасовые и погребенные россыпи.

Оледенение и россыпи. В большинстве крупных золотоносных районов СССР обнаружены ледниковые формы и отложения, которые свидетельствуют о значительных изменениях в развитии речной сети. Оледенения в районах распространения россыпей обычно изучаются с трех точек зрения: влияния оледенения на доледниковую россыпь, возможной золотоносности самих ледниковых отложений и косвенного влияния оледенения на россыпи внеледниковых областей.

Степень сохранности доледниковой россыпи под донной мореной зависит главным образом от характера доледникового рельефа. В условиях расчлененного рельефа с крутым падением долин мощные ледники, срывая кору выветривания и коренные породы, образовывали огромные массы обломочного материала, который, перемыва-

ясь, становился источником образования аллювиальной россыпи. Но при сравнительно небольшой мощности ледников в широких долинах с пологими уклонами днищ выпахивания рыхлых отложений и вмещающих россыпей не происходило. В этом случае россыпи перекрывались ледниковым материалом и сейчас обнаруживаются там, где эти отложения прорезаются долинами современных рек (Ленский золотоносный район). Рыхлый покров сдвигался лишь в местных сужениях и на поворотах долин. В районах с расчлененным доледниковым рельефом, например, с узкими долинами, ледники могли разрушать и выпахивать россыпи, включая их в состав дольных, береговых и конечных морен (Аллах-Юнский район). В таком случае россыпь разубоживается и теряет промышленное значение.

При выделении долин, в которых ледники могли уничтожить россыпи, учитывается устойчивость тектонического поднятия территорий, а также положение долин и ледников по отношению к наиболее высоким водоразделам. В районах, испытавших длительное поднятие, ледники выпахивали, а их воды размывали продуктивные пласты.

При перемыке слабометаллоносных ледниковых образований концентрация в них металла и формирование крупных россыпей маловероятны. Богатство россыпей в ледниковых районах в некоторых случаях, по-видимому, объясняется образованием их после первой эпохи оледенения и незначительным воздействием на них последующих оледенений (колымские россыпи). Ледники могут также переносить аллювиальный материал из одной речной системы в другую и, следовательно, осложнять выявление закономерностей размещения россыпей. Косвенное влияние оледенения на россыпи внеледниковых областей обычно сводится к усилению размыва при таянии ледников.

Таким образом, в ледниковых районах практически важно изучение вопросов множественности, времени и границ оледенений, сплошности и типа оледенения, направления движения льдов, выпахивающей силы ледников, доледникового рельефа и т. п. В районах однократного оледенения глубокий послеледниковый врез сопровождался перемывом и переотложением доледникового аллювия и морены, поэтому здесь формировались россы-

пи с участием отложений флювиогляциального генезиса (россыпи Аллах-Юнского, Ольгинского золотоносных районов). В областях двукратного оледенения при слабой активности ледников, как это было в Якутии, хорошо сохранились погребенные под мореной верхнечетвертичных ледников россыпи, сформированные в межледниковое время (бассейн Колымы). В таких районах большой практический интерес представляет выявление долин, не подвергавшихся вторичной ледниковой обработке.

Установление следов оледенения в районе поисков определяет преимущество валунно-ледникового метода исследований и шлихового анализа материала дошной морены.

Особенности формирования и поисков прибрежно-морских россыпей. Большие преобразования в процесс формирования россыпей вносит работа моря. Аллювиальные россыпи могут размываться морем и входить в состав отложений морских террас или выноситься реками на прибрежные отмели. Геоморфологические исследования при поисках морских прибрежных россыпей направлены на изучение геологических и геоморфологических предпосылок накопления в прибрежной зоне моря россыпей, процессов дифференциации обломочного материала, условий захоронения и перехода россыпей в ископаемое состояние.

Для накопления в прибрежной зоне обломочного материала и тяжелой фракции прежде всего необходимы источник тяжелых минералов и благоприятный тектонический режим. Источником поступления тяжелых минералов в прибрежную зону моря или озера могут быть различные коренные породы, коры выветривания, а также россыпи других генетических типов. Тяжелые фракции выносятся в прибрежную зону реками или размываются волнами. Накоплению обломочного материала в прибрежной зоне способствуют дифференцированные тектонические движения — поднятия складчатых структур, размыв рыхлых отложений и накопление их в прилежащих опускающихся депрессиях.

Дифференциация обломочного материала в прибрежной зоне происходит посредством перемещения его волнами перпендикулярно к берегу и параллельно ему в направлении равнодействующей ветров (рис. 10). При перемещении вдоль берега наиболее легкие частицы уда-

ляются, а тяжелые остаются на месте. При многократном пересотложении обломочного материала на участках длительной аккумуляции происходит его обогащение тяжелыми и устойчивыми минералами. Рыхлый материал может переноситься вдоль берега на очень большие расстояния — 300, 500 и даже 2500 км (песок Лабрадора обна-

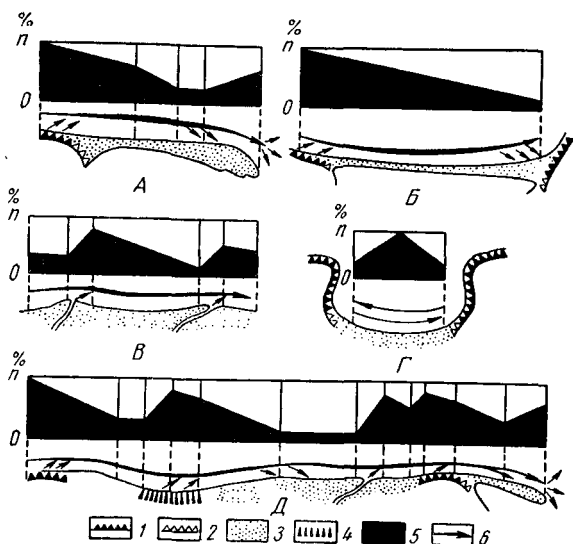


Рис. 10. Примеры минералогической дифференциации наносов при вдольбереговом перемещении их на различных участках берега (по А. А. Аксенову, Е. Н. Невескому и др., 1965):

А — Д — распределение минералов на разных участках побережья:

1 — абразионный берег, 2 — отмершие абразионные уступы, 3 — аккумулятивный берег, 4 — размыв в пределах аккумулятивного берега, 5 — содержание тяжелой фракции в песках, 6 — направление перемещения материала

ружен на берегах Флориды). На береговой поток наносов, создающих россыпи, помимо течений, большое влияние оказывает морфология берега. В зоне приглубых обрывистых берегов береговой поток минеральной массы практически отсутствует. Наиболее обогащены тяжелой фракцией заливы и участки у крутых поворотов древнего берега.

Захоронение залежей происходит в процессе пере-

стройки аккумулятивных форм и образования трансгрессивной толщи с серией россыпей на разных уровнях (А. А. Аксенов, Е. Н. Невесский и др., 1965). В круг вопросов, изучаемых при поисках прибрежных россыпей, входит также определение возраста береговых линий, так как практический интерес имеют те из них, которые сформированы после того, как в бассейн стали впадать реки, приносящие тяжелую фракцию.

В прибрежной зоне формируются береговые, или пляжевые, террасовые и подводные россыпи. Наибольшие концентрации тяжелой фракции обычно наблюдаются в береговых морских и озерных валах, где прибой тщательно сортирует рыхлый материал. В связи с этим прибрежная зона и особенно зона прибоя неблагоприятны для концентрации таких мягких металлов, как золото и платина, где они быстро истираются. Зато устойчивые титаносодержащие металлы, редкие элементы, алмаз дают здесь богатые месторождения. Древние и современные прибрежно-морские россыпи ильменита, рутила, сфена известны на восточном побережье Австралии, в Бразилии, Флориде, на территории СССР. Эти месторождения образовались главным образом за счет размыва продуктов кор выветривания, обогащенных тяжелыми минералами. На юго-востоке Западно-Сибирской низменности россыпь ильменита образовалась за счет размыва переотложенных продуктов коры выветривания нижнекаменноугольных пород. В условиях медленно поднимающегося приморского пляжа в песчаных отложениях сформировалась очень широкая россыпь, которая в олигоцене была захоронена осадками трансгрессирующего моря.

Для аккумуляции титаносодержащих и редкометалльных россыпей необходима высокая сортированность терригенного материала. Не отличаясь значительно по удельному весу от основной массы обломочного материала, эти металлы могут образовывать высокие концентрации лишь в особо благоприятных условиях. Такая обстановка создается в прибрежных зонах субтропиков и тропиков, где в полосе прибоя происходит обогащение редкими металлами пляжей и песчаных баров (Бразилия, Индия, Цейлон, Австралия и т. д.). Самое высокое содержание редких металлов отмечено на участке береговой полосы, непосредственно тяготеющей к дельтам рек,

которые способствовали быстрому выносу на берег большой массы обломочного материала.

Промышленное значение имеют также морские и озерные россыпи янтаря (В. С. Трофимов, 1965). Они образуются в водоемах со спокойным режимом на глубинах 12—14 м (море) и 7—8 м (озера). Эксплуатация этих россыпей обычно проводится после крупных штормов, когда сравнительно легкий янтарь всплывает к поверхности моря и выбрасывается на косы (Губнинкен в Польше, Замландский п-ов Балтийского моря). Алмазные прибрежно-морские пляжевые и дельтовые россыпи юрского возраста недавно обнаружены в Прилепской области (Б. И. Прокопчук, 1965). Слой базальных конгломератов, к которому приурочены россыпи, выдерживается здесь на протяжении 400 км. Базальные конгломераты служат теперь источником питания алмазами руслового аллювия. Кристаллы алмазов отличаются большим процентом механического износа, что свидетельствует об их длительном перемыве в условиях прибрежно-морской зоны.

Эоловых россыпей промышленного значения известно мало. Наиболее крупное месторождение алмазов расположено в прибрежной пустыне Намиб (Ю. Африка). Возможность находок россыпей в аридных областях больше в зонах выноса, чем в зонах аккумуляции песчаного материала. Некоторое скопление тяжелых фракций наблюдается также в сухих долинах эфемерных рек, выполненных пролювиальным материалом.

Зональность в распределении россыпей. Зональность распределения россыпей можно рассматривать с геоморфологической и географической точек зрения. Геоморфологическую зональность речной сети и приуроченных к ней россыпей районов отметил еще Ю. А. Билибин (1938), изучая золотые россыпи горных районов северо-востока СССР. В бассейне реки, испытавшем поднятие верховьев, Ю. А. Билибин выделил четыре геоморфологические зоны возможных россыпей: зрелых долин и долинных россыпей старого эрозионного цикла; углубления долин с русловыми и террасовыми россыпями; расширения долин и заполнения их речными отложениями (зона преобразования русловых россыпей в долинные и уничтожения террасовых россыпей); зрелых долин и долинных россыпей нового эрозионного цикла.

Эта схема зонального строения россыпей правильна лишь в принципе и не является универсальной для всех типов рельефа и возможных случаев развития долинной сети. На примере Центрального Казахстана Г. Б. Жилинский (1956) показал, что в области устойчивого поднятия последовательно формируются долинные, русловые, террасовые зональные россыпи разного возраста, а также обширные аккумулятивные шлейфы с россыпями дельтово-косового типа (при унаследованном развитии древней речной сети и размыве ее современной речной сетью).

Еще менее изучен вопрос о влиянии зонально-географических факторов на размещение россыпей. В последнее время появился ряд исследований, утверждающих, что положение россыпи в той или иной географической зоне определяет все многообразие россыпных месторождений и особенности концентрации тяжелых компонентов. Четко выделяются россыпи тропической, аридной, гумидной и субполярной зон.

В мощных корах выветривания жаркой и влажной тропической зоны образуются главным образом элювиальные россыпи. Аллювиальные россыпи этой зоны отличаются незначительной протяженностью и исключительно высоким содержанием полезных компонентов.

В условиях аридной зоны россыпи высокой концентрации встречаются довольно редко, что объясняется преобладанием физического выветривания, создающего преимущественно крупный материал, и слабостью эрозионных процессов, не способствующих перемыву и сортировке рыхлых отложений. Сезонное выпадание осадков в форме ливней благоприятно здесь для образования небогатых пролювиальных россыпей. Промышленное значение приобретают главным образом прибрежно-морские россыпи.

В областях гумидного климата преимущественное развитие получают процессы химического выветривания, при которых происходит почти полное освобождение тяжелых фракций из вмещающих горных пород, а мощный почвенный и густой растительный покров обуславливает нормальную транспортировку и дифференциацию рыхлого материала. При этом преобладающее развитие получают аллювиальные россыпи, которые по сравнению с пролювиальными россыпями аридной зоны не переносят-

ся на далекие расстояния и отличаются большей протяженностью и выдержанностью. Некоторые считают, что влажность климата по-разному сказывается на накоплении золотых и алмазных россыпей (В. Битц, 1930). Для концентраций золота более благоприятен влажный климат и постоянно действующие потоки. Для накопления же алмазов значительная водность территории неблагоприятна, так как в этом случае алмазы переносятся вместе с галькой и гравием, легко дробятся и теряют свою ювелирную и промышленную ценность. Во влажном гумидном климате крупные и обильные кристаллы алмазов чаще обнаруживаются вблизи коренных источников. Так, известно, что алмазы из кимберлитовых трубок поступают в долины сибирских рек на расстояние не более 50 км, а влияние размываемых алмазоносных террас сказывается не далее 5—10 км. Установлено также 5—10-кратное обогащение минералами — спутниками алмазов аллювия рек вблизи размываемого ими пласта алмазоносных конгломератов.

В областях субполярного климата преобладает морозное выветривание, которое, как правило, не способствует значительному высвобождению тяжелых компонентов из вмещающих пород и, следовательно, образованию элювиальных россыпей. Интенсивное дробление обломочного материала в условиях многолетней мерзлоты происходит лишь в аллювиальной стадии образования россыпей, которые отличаются наибольшей концентрацией тяжелых фракций, особенно вблизи от коренного источника. «Такие крупнейшие золотороссыпные района мира, как Аляска, Колыма, Индигирка, Алдан, Лена, Енисей, Северный Урал, располагаются в пределах разновозрастных тектоно-магматических комплексов, но в равной мере тяготеют к северным широтам и лишены крупных и концентрированных рудных месторождений» (Н. А. Шило, 1956, 1960).

Геоморфологические карты для поисков россыпей. Основу содержания таких карт составляют данные, позволяющие судить о комплексе условий, благоприятных для образования россыпей и их дальнейшей сохранности, происхождении полезного ископаемого в россыпи, путях его транспортировки и местах преимущественной аккумуляции. В зависимости от производственных задач выделяют пять основных видов геоморфологических карт.

Обзорная геоморфологическая карта в масштабе 1:1 000 000 и 1:500 000 составляется в процессе геолого-геоморфологической рекогносцировки территории с целью определения общих возможностей образования и сохранения на данной территории россыпей полезных ископаемых. Назначение карты определяет основное содержание ее нагрузки: типы, формы и элементы рельефа, отражающие колебательные движения и климатические условия в мезокайнозойское время, процессы денудации и аккумуляции, направление сноса рыхлого материала; древние поверхности выравнивания различной степени сохранности; рыхлый покров, его генетические типы и мощность, известные месторождения полезных ископаемых. Эта карта отражает районирование территории на провинции, одинаковые по характеру тектонических движений, условиям палсоклимата и развития рельефа.

Поисковая геоморфологическая карта в масштабе 1:200 000 или 1:100 000 составляется с целью определения на данной территории россыпей по типу содержащихся в них полезных ископаемых и основных закономерностей их размещения. На карте выделяют районы россыпей полезных ископаемых по признаку сходства развития последних этапов мезокайнозойских движений, эрозионных циклов и межледниковых эпох, процессов выветривания, генетических типов россыпей.

Поисково-разведочная геоморфологическая карта в масштабе 1:25 000 составляется на территории с уже известной промышленной золотоносностью, алмазонасностью, т. е. соответствует картированию золотоносных узлов (Е. Т. Шаталов, 1948). В пределах этих территорий, определяемых распространением одного-двух генетических типов россыпей, сходны стратиграфия рыхлых отложений, процессы выветривания и денудации, условия высвобождения металлоносных частиц из коренных пород и их движения к долине реки (например, делювиальные россыпи). Все это определяет общие принципы построения легенды карты, состоящей из четырех основных частей*.

* Для карт крупнее масштаба 1:500 000 можно говорить лишь об общих принципах построения легенды, так как на таких картах фиксируется главным образом фактический материал.

1. Формы и элементы наземного и подземного эрозионно-аккумулятивного рельефа — долины, террасы, участки древних погребенных русел, лога, размывающие террасы, современные русловые формы рельефа, склоны различной крутизны и каменистости и т. п. В этой части легенды оценивается золотоносность отдельных форм и элементов рельефа, а также легкость или трудность условий обнаружения и добычи полезного ископаемого.

2. Рыхлые отложения, их генетический тип, абсолютный и относительный возраст, мощность (например, для выяснения объема земляных работ по снятию «торфов»).

3. Элементы рельефа, характеризующие условия и процесс перемещения рыхлого материала — генетический тип процесса, его направление, скорость, сезонность, очаги поступления рыхлого материала в долину реки, падение продольного профиля реки по отдельным участкам долины с указанием максимальных скоростей потока в периоды половодий и т. д.

4. Элементы металлоносности и прогноза — генетические и возрастные типы россыпей с данными о содержании полезного компонента, границы распространения металлоносной минералогической ассоциации, ранее установленные золотоносные пласты, отвалы старательских работ, старые разведочные линии, участки, рекомендуемые для производства поисковых и разведочных работ, и т. п.

Разведочная геоморфологическая карта масштаба 1:10 000 и крупнее составляется на территории рудного поля или части его, например, геоморфологическая карта русловых образований или разведки современных косовых и русловых россыпей. Эта карта является картой форм и элементов рельефа и имеет большую специальную нагрузку. На нее наносят точные контуры русла реки со всеми его деталями — порогами, перекатами, коренными выходами пород, русловыми валами, отмелями, косами, низкими террасами и уступами, а также признаки их размыва, направление сноса рыхлого материала и многие другие элементы. Специальная нагрузка карты рассчитана главным образом на геологов обогатителей, поэтому фон ее составляет гранулометрическая характеристика аллювия и делювия. Особенно тщательно следует подходить к картографированию площадей распространения валунов и галек размером от 1

до 30 см — фракции, содержащей тяжелые компоненты. Кроме того, очень важны специальные данные по гидродинамической характеристике руслового потока — скорость течения, уровень горизонта воды, глубины, движение галечника и т. п. В некоторых случаях целесообразно составлять специальные динамические карты, отражающие взаимную связь водного потока, рельефа русла и характера рыхлого материала.

Эксплуатационная топографо-геоморфологическая карта современного и погребенного рельефа разрабатываемого пласта полезного ископаемого (масштаб от 1:2000 до 1:500). В некоторых случаях указывается происхождение форм рельефа, например, выделяются карстовые воронки, придающие определенные эксплуатационные свойства содержащимся в них россыпям («косые» россыпи).

Некоторые данные о региональном распространении россыпей на территории СССР. Металлические и минеральные россыпи формируются в районах развития соответствующих им коренных источников. На территории СССР россыпи золота тяготеют к полям распространения гидротермальных кварцево-золотых жил или сульфидных пород. Россыпи платины характерны для районов развития ультраосновных пород (например, дунитов), алмазы — для областей развития кимберлитов, россыпи редких элементов и радиоактивных металлов — для областей развития щелочных и кислых интрузивов. Эти коренные источники россыпей свидетельствуют о приуроченности их главным образом к геосинклинальным областям и тем районам платформ, в которых близки к поверхности коренные породы (север и юг европейской платформы, Средне-Сибирская платформа). На платформах с глубокопогребенным фундаментом, перекрытым большой толщей осадочных пород, особенно в условиях погружающихся участков равнин, россыпи промышленного значения почти неизвестны. В целом неблагоприятны для формирования россыпей и пластовые денудационные равнины (Средняя Сибирь), однако там, где по глубинным разломам к поверхности поднимались базальты и образовывались «трубки взрыва», выполненные кимберлитом, возникали богатые коренные, а в дальнейшем и россыпные месторождения алмазов (Восточная Сибирь). На эрозионно-денудационных между-

речьях таких пластовых равнин нередко встречаются остатки древней гидрографической сети с пятнами водо-раздельных галечников.

В пределах докольных равнин часто встречаются неплененизированные поверхности с древней и современной долинной сетью, перспективной на россыпи (Восточный Казахстан).

Общие закономерности распространения россыпей в геосинклинальных областях подчинены главным образом двум факторам: возрасту горных сооружений и связанной с ним глубиной их эрозионного среза. Молодые горные сооружения альпийского возраста с очень неглубоким эрозионным срезом, как правило, не имеют богатых месторождений россыпей. Нехарактерны богатые россыпи и для районов с очень глубоким эрозионным срезом (древний Балтийский щит). Наиболее богатые месторождения россыпей тяготеют к средневозрастным горным сооружениям типа Забайкальской горной системы.

Общие региональные закономерности распространения россыпей на территории СССР существенно нарушаются действием местных геологических, геоморфологических и географических факторов.

Россыпи различных типов известны почти на всей территории СССР — в Сибири, на Урале, в Средней Азии и европейской части страны. Наиболее богатые россыпи сконцентрированы в Сибири, особенно в ее восточной части.

Центральная и северная часть Средней Сибири — районы развития многих россыпных и коренных алмазных месторождений (р. Вилюй и его притоки — реки Марха, Тюнг, Большая и Малая Баттуобии, бассейны рек Олсенека и Муна, Приленский район). Вилюйский алмазоносный район расположен в области сопряжения разновозрастных тектонических структур, где широко развиты траппы и связанные с ними кимберлиты, сходные с кимберлитами Южной Африки. Кимберлитовые трубки расположены главным образом на южном и восточном склонах Анабарского массива, на участках развития карбонатных пород ордовика. Возраст «трубок взрыва» посленижнетриасовый. Образование алмазоносных россыпей связано здесь с глубокой химической переработкой кимберлитов в течение нескольких эпох выветри-

вания. Сами трубки были сдунудированы на глубину до 300 м.

Образованию алмазов Восточной Сибири способствовали общая равнинность рельефа, слабая эрозионная деятельность рек, чередование засушливых и влажных климатических периодов, сортировка обломочного материала в волноприбойной зоне нижнеюрского и более поздних морей. В доюрском цоколе характерно также присутствие глубоких эрозионно-карстовых воронок. Все это обусловило недалекий разнос алмазов современными и древними реками от кимберлитовых трубок и их локальное захоронение с резким колебанием мощностей. Наиболее распространены прибрежно-морские и аллювиальные, особенно русловые россыпи — береговые отмели, валы, бичевники. Перспективные районы для поисков новых месторождений — склоны Анабарского щита, Лено-Анабарской впадины, Оленекского поднятия.

На северо-востоке СССР известны главным образом золотое оруденение и россыпи нескольких возрастов, образовавшиеся при разрушении коренных месторождений верхнеюрского возраста. Коренные источники связаны с магматическими породами, положение которых предопределено системой глубинных разломов. Это объясняет линейность — поясность размещения золотого оруденения и россыпных месторождений. Из пяти поясов оруденения наибольшее промышленное значение имеет Яно-Колымский золотоносный пояс, совпадающий с низкогорным типом рельефа. К долинам, особенно их днищам и невысоким террасам, выработанным вдоль рудоносных разломов, приурочены богатые аллювиальные и аллювиально-делювиальные россыпи. Кроме того, известны водораздельные и погребенные россыпи древних долин, а также ледниковые и флювиогляциальные (бассейн Колымы). Перспективны для поисков новых месторождений золота территории, тяготеющие к молодым сводовым поднятиям или прогибам (бассейны рек Индигирки, Анюя, Охотское побережье).

В пределах Витимо-Патомского нагорья расположен один из старейших золоторудных районов страны — Ленский район. Он богат золотыми россыпями, сосредоточенными в сравнительно немногих месторождениях зон дробления, сдвигов и других дизъюнктивных нарушений. Речные долины, заложившиеся вдоль рудовмещающих

зон, содержат четыре горизонта россыпей, переслаивающихся мореной и флювиогляциальными песками. Таким образом, здесь развиты преимущественно глубокопогребенные аллювиальные и ледниковые россыпи. Для поисков новых месторождений перспективны окраины Бодайбинского синклинория.

Источником многочисленных месторождений золотых россыпей Енисейского края служат кварцевые жилы протерозойских синийских гранитных интрузий. Жилы связаны с зонами интенсивного расланцевания, дробления и разломами. Основная добыча золота производится из пойменных, уже сильно выработанных россыпей. Наиболее перспективны россыпи древней долинной сети.

Золотое оруденение Алтае-Саянской горной системы связано с разломами, кварцевыми жилами, скарнами интрузий грано-диоритового состава главным образом досилурийского возраста. Большинство золотых россыпей приурочено к областям средне- и низкогорного рельефа Горного Алтая, Кузнецкого Алатау, Тувинской котловины, Западного Саяна, Салаирского края. Здесь наиболее ценны в промышленном отношении современные долинные, древние погребенные и водораздельные россыпи. В Кузнецком Алатау и в Восточном Саяне надо обратить внимание на поверхности палеоген-неогенового возраста, особенно в пределах зон, не испытывавших значительных поднятий. Помимо поисков древних погребенных россыпей в высокогорных впадинах, в менее расчлененной части Горного Алтая целесообразны поиски россыпей на сохранившихся участках пенепленов.

Россыпи Западно-Сибирской низменности приурочены к определенным стратиграфическим горизонтам мезокайнозойского времени, соответствующим эпохам интенсивного размыва кор выветривания. Наиболее перспективны прибрежно-морские редкометалльные россыпи, а также золотые россыпи древних долин, размывавших массивы изверженных или толщи осадочных пород, обогащенных тяжелой фракцией.

Одним из старейших районов по добыче золота, платины и алмазов является Урал. Коренные источники уральских алмазов неясны, а россыпи приурочены главным образом к долинам древних рек и мелким ложкам. Золотые россыпи сосредоточиваются на Южном Урале,

где они связаны с кварцевыми жилами и расланцованными зонами интрузий средне- и верхнепалеозойского возрастов и силуро-девонскими эффузивами зеленокаменной полосы восточного склона гор (рис. 11). Наибо-

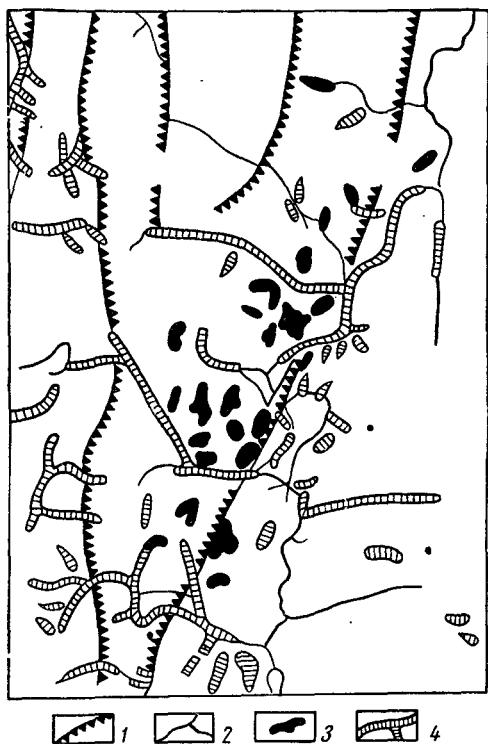


Рис. 11. Историческая преемственность золото-платиновых россыпей Урала (по А. П. Сигову, 1965):

- 1 — мезозойские эрозионно-структурные депрессии,
 2 — современные реки, 3 — доплиоценовые россыпи,
 4 — россыпи плиоцен-четвертичного возраста

лее богатые россыпи приурочены к русловым отложениям современных водотоков. Известны также карстово-аллювиальные россыпи миоценового возраста. На западном склоне и в осевой части Урала выявлены рутил-цирконовые россыпи, тяготеющие к докембрийским

и протерозойским гнейсам и амфиболитам. На восточном склоне Северного Урала обнаружены россыпи мезозойского возраста. Они лежат в депрессиях, образовавшихся по зонам глубинных разломов и выраженных в современном ландшафте заболоченными понижениями, протягивающимися на десятки километров.

В пределах европейской части страны известны редкометалльные месторождения по северной окраине Украинского кристаллического щита и в центральной части Русской платформы. Источником питания россыпей служат интрузии Украинского щита и Воронежского массива. Высокие концентрации тяжелой фракции характерны для мезозойских и неогеновых аллювиальных, аллювиально-делювиальных и прибрежно-морских отложений.

Известны россыпи редких металлов — ильменита, рутила, сфена, циркона, монацита и на Кольском полуострове. Они приурочены к докембрийским метаморфизованным толщам конгломератов, доледниковым континентальным отложениям, флювиогляциальным и ледниковым, прибрежно-морским и озерным осадкам. По мнению А. В. Сидоренко (1959), благоприятные предпосылки для формирования россыпей в пределах Балтийского щита создают повышенные концентрации тяжелых минералов в породах докембрия, длительность и сложность континентального развития территории, частичная сохранность коры выветривания. С точки зрения сохранности россыпей неблагоприятны поднятия, которые испытывает в послеледниковое время Кольский полуостров, связанное с этим персуглубление речных долин и вынос продуктов выветривания под уровень Баренцева и Белого морей.

В Армении есть россыпные месторождения вольфрама, золота, платины, связанные с континентальными и озерно-лагунными отложениями четвертичного возраста. Промышленный интерес представляют золотоносные и платиноносные древние аллювиальные и элювиальные россыпи, погребенные под лавами. Все древние россыпи цементированы.

Россыпи крупных коренных источников золота и вольфрама в Средней Азии и Казахстане небогаты. В Западном Казахстане обнаружены титано-циркониевые и редкометалльные остаточные, прибрежно-морские и конти-

ментальные россыпи. Они связаны с корами выветривания гранитоидов и щелочных пород. В пустынях, как это наблюдается в районе богатого золоторудного месторождения Мурунтау (пустыня Кызылкум), россыпи находятся в рассеянном состоянии в отложениях саев и впадин, пролювиальных шлейфов островных палеозойских гор.

Условия формирования россыпей настолько многообразны, что поиски их по своей сложности не уступают поискам коренных месторождений. Только тщательный геолого-геоморфологический анализ, учитывающий местную физико-географическую обстановку, позволит правильно вскрыть закономерности пространственного размещения россыпей.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ НЕФТИ И ГАЗА

Большинство геоморфологических методов поисков нефти и газа основано на изучении унаследованности современного рельефа и новейших движений от древних структурных элементов и форм рельефа. В первые годы разработки этого метода его сущность сводилась главным образом к оценке степени выраженности в рельефе уже известных локальных поднятий. Для этого использовались приемы общего геоморфологического и морфометрического анализа (Н. П. Туаев, 1937; С. С. Кузнецов, 1946; Т. В. Звонкова, 1947). В последние годы геоморфологические исследования для поисков нефти и газа переросли в самостоятельное структурно-геоморфологическое направление.

Основная задача геоморфолога, участвующего в поисковых работах на нефть и газ, — выявление по геоморфологическим данным общих и частных закономерностей размещения месторождений.

Для выполнения этой трудной задачи необходим комплекс сложных исследований, направленных на установление физико-географических и геоморфологических условий, благоприятных для образования залежей нефти и газа, выявление конкретных мест скопления нефти, определение условий сохранности нефтяных и газовых залежей.

Согласно концепции смешанного органического происхождения нефти, образование ее начинается в зоне жаркого и влажного климата, где есть условия для развития больших масс животных и растительных организмов. Но периоду непосредственного накопления нефтеобразующих продуктов соответствуют, по-видимому, не тропические и субтропические, а аридные условия. Именно в сухом климате резко усиливается процесс осолонения морских бассейнов и их заливов, что вызывает массовую гибель пресноводной фауны и флоры.

В благоприятных физико-географических зонах нефтегазонакопление обуславливается тектоническими и геоморфологическими условиями. Месторождения нефти и газа формируются в крупных областях прогибания, которым обычно соответствуют предгорные впадины. Рельеф впадин определяет размеры и форму седиментационного бассейна, по периферии которого происходит смена фаций, выклинивание проницаемых пород и формирование залежей нефти. Скапливающиеся здесь осадки, погружаясь на большую глубину, попадают в зону повышенных температур и давлений. Но тектоническое прогибание и погружение толщ осадков компенсируется аккумулярующимся у подножия материалом, что обеспечивает существование бассейнов малой глубины с застойными водами, благоприятными для развития планктона и накопления в осадках органического вещества. Закономерная приуроченность большинства нефтяных месторождений к окраинам гор позволила И. М. Губкину установить закон орографического распределения нефти. Именно с этими территориями, как известно, связано до $\frac{2}{3}$ мировой добычи нефти.

Так как закономерности распространения зон нефтенакопления в каждом седиментационном бассейне определяются его геотектонической структурой и геоморфологическими очертаниями, И. О. Брод положил эти признаки в основу классификации нефтегазоносных бассейнов: I группа — бассейны платформенных равнинных впадин, II группа — бассейны предгорных областей прогибания, III группа — бассейны межгорных впадин. Близкие по структурно-геоморфологической характеристике нефтегазоносные бассейны объединяются в группы, связанные с крупными геотектоническими поясами (И. О. Брод, 1961).

Оценка перспектив нефтегазоносности и определение условий, благоприятных для скопления нефти и газа, проводятся геологическим, геофизическим, палеогеографическим, геоморфологическим и другими методами.

К геоморфологическим методам поисков нефти и газа относятся структурно-геоморфологический, морфометрический и палеогеоморфологический, которые чаще применяются совместно и в комплексе с геологическими и геофизическими методами.

Структурно-геоморфологический метод. Структурно-геоморфологический анализ для поисков нефти и газа основан на принципе унаследованности морфоструктур от более древних структур и связи их активности с глубинным геологическим строением. Впервые структурно-геоморфологический метод в целях поисков нефти и газа был применен в Америке, где еще в 20-е годы этого столетия его популярности способствовало использование аэрофотосъемки. В СССР, где структурно-геоморфологический метод поисков также получил широкое распространение, с его помощью выявлены десятки нефтегазоносных структур в Поволжье, Западной Сибири, Средней Азии и других частях страны. Структурно-геоморфологическим методом определяют как крупные черты геотектонического строения больших территорий, так и сравнительно небольшие локальные структуры в пределах площадей, перспективных на нефть и газ.

Структурно-геоморфологический анализ для определения общих условий образования нефтегазоносных залежей состоит в выявлении выраженных в рельефе крупных черт геотектонического строения — краевых и межгорных прогибов, тектонических депрессий платформ, где нефтегазоносные отложения скрыты под толщей осадочных пород. Геоморфологические исследования в этом случае направлены на установление связей между крупными морфоструктурами и осадочными формациями. В Средней Азии областям прогибания, как правило, соответствуют аккумулятивные равнины, конфигурация которых совпадает с очертанием прогибов и их ориентировкой. Одним из таких структурных элементов южной периферии Урало-Сибирской эпигерцинской платформы являются Кызылкумы и Бухаро-Хивинская впадина. В развитии Бухаро-Хивинской внутриплатформенной синклинали нефтьгазоносной структуры, начиная с

триаса и до конца неогена, преобладали опускания, территории распространения которых сейчас соответствуют аллювиально-эоловые равнины.

На значительное соответствие между распространением крупных морфоструктур различного типа в пределах Русской равнины и размещением месторождений нефти и газа обратил внимание Ю. А. Мещеряков (1960). Он отметил, что во внутренних частях равнины, где господствуют обращенные морфоструктуры первого порядка, нет нефтепромысловых районов. Все крупные месторождения нефти и газа сосредоточены в краевой части равнины, для которой характерны прямые морфоструктуры. Прямые и переходные типы морфоструктур характерны также для краевых зон Северо-Американской и Восточно-Сибирской платформ (Виллюйская низменность, Иркутский амфитеатр).

Нефть и газ скапливаются в пористых породах — песчаниках и известняках, которые служат их коллекторами. При благоприятном положении этих пород в виде ловушек, прикрытых толщей непроницаемых глинистых пород, здесь могут формироваться крупные залежи нефти и газа. Помимо структурных, различают стратиграфические, литологические и геоморфологические ловушки. Стратиграфические ловушки связаны с условиями отложения пластов, например их выклиниванием или перекрытием вышележащими слоями. Литологические ловушки образуются при разной проницаемости одного и того же пласта, а геоморфологические — при выполнении коллекторскими толщами различных форм рельефа.

До 60% месторождений нефти и газа платформенных областей и краевых прогибов приурочены к положительным структурам типа валов, куполов, брахиантиклинальных складок (морфоструктуры второго порядка). Многие из нефтяных структур находят отражение в современном рельефе, что позволяет обнаруживать их геоморфологическими методами.

Структурно-геоморфологический анализ позволяет определять как общие контуры локальных поднятий и тектонические элементы, осложняющие их крылья, так и активность структур, их связь с глубинным геологическим строением. Можно говорить о пассивном и активном отражении тектонических структур в рельефе. Пассивное отражение связано с особенностями денудационной пре-

парировки литологически и структурно неоднородных толщ. Эти процессы как бы проявляют через рельеф на поверхность земли контуры тектонических структур. В зависимости от физико-географических и геологических особенностей территории тектонические структуры

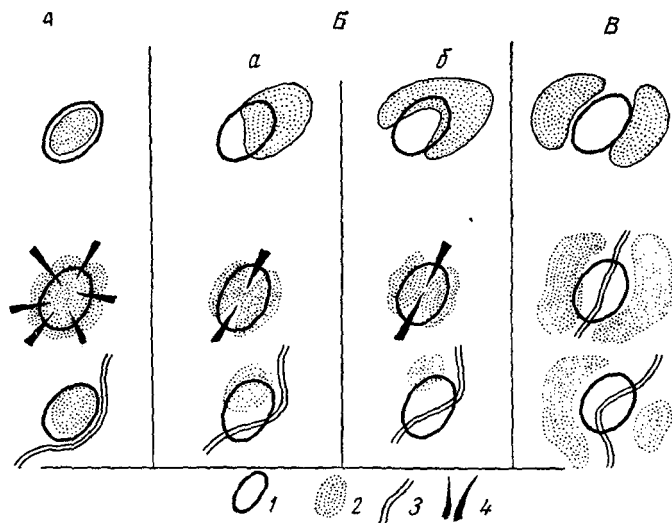


Рис. 12. Основные типы локальные антиклинальные морфоструктуры (по Ю. А. Мешерякову, 1965): А — прямые морфоструктуры, Б — морфоструктуры переходного типа (а — более близкие к прямым, б — более близкие к обращенным), В — обращенные морфоструктуры:

1 — контур структуры, 2 — возвышенные участки рельефа, 3 — реки, 4 — овраги

по-разному выражаются в рельефе. Учитывая соотношение структурных форм с орографией и рисунком гидрографической сети, выделяют морфоструктуры — прямые, обращенные (инверсионные) и переходные (рис. 12). Признаками пассивного отражения в рельефе положительных структур чаще всего служат повышения рельефа в виде останцовых гряд и увалов, особенно куэстовых, структурные концентрические гряды, радиальный рисунок долинной и овражной сети, коленообразные изгибы рек и т. п. Признаки отрицательных структур — котловины, широкие лога, древовидный рисунок расчле-

нения и т. п. Тектоническая природа этих положительных и отрицательных форм рельефа проверяется другими известными геоморфологическими и геологическими методами.

Активное отражение локальных структур в рельефе обусловлено тектонической активностью, ростом структур в новейшее время. По мнению геологов, такие длительно растущие тектонически активные структуры наиболее перспективны на нефть и газ. Они могут быть опознаны в рельефе по его новейшим деформациям, амплитуды которых измеряются десятками метров. В зависимости от особенностей геоморфологического строения района для выявления активных морфоструктур должны быть проведены наблюдения за деформациями полигенетических поверхностей выравнивания, спектров речных и морских террас, а также анализ фаций и мощностей новейших отложений, особенно аллювиальных свит.

Поверхности выравнивания формируются в условиях полной компенсации эндогенных процессов экзогенными и знаменуют собой определенный этап геоморфологического развития территории. Наблюдения за деформациями поверхностей выравнивания позволяют судить о движениях земной коры и выявить на равнинных территориях морфоструктуры. При этом изучаются поверхности как денудационные, так и аккумулятивные. Для получения данных о размерах тектонических деформаций прежде всего надо восстановить первичный переработанный рельеф древней поверхности и как бы «вычистить» его из современного рельефа. Для этих целей наиболее удобны полигенетические поверхности, связанные в период своего образования с береговой линией моря как главным базисом эрозии. Особенно ценные данные для структурных построений дает анализ поверхностей аккумулятивного происхождения. Но выявление локальных структур в пределах таких поверхностей, особенно геологически молодых, очень сложно, так как деформации их в рельефе сле уловимы. Тектонические деформации поверхностей выравнивания передаются изолиниями на структурно-геоморфологической карте.

На деформации земной поверхности и изменение ее наклонов чутко реагируют водные потоки. С ними связано большинство признаков, указывающих на рост тектонических структур: изменение плановых очертаний

русел рек и других эрозионных форм, их извилистости, глубины врезания и ширины долин; изменение высот поверхностей разновозрастных террас вдоль и поперек долины, расщепление террас; изменение планового положения, очертаний и рельефа наземных дельт, их миграция и отмирание; изменение формы гидрографической сети — резкие изгибы дельтовых протоков, их бифуркация, заболачивание и отмирание, интенсивное врезание русел при пересечении поднятий; изменение высот разновозрастных современных и древних береговых линий и террас в пределах морских аккумулятивных равнин; расчленение и перекося озерных котловин, миграция водоемов и т. п.

Выбор приемов выявления локальных структур во многом определяется местными геотектоническими, геоморфологическими, географическими условиями и особенно спецификой экзогенных процессов.

Наиболее эффективен структурно-геоморфологический анализ в районах с высокой степенью унаследованности геоструктурных и морфоструктурных элементов (например, на юго-востоке Русской платформы и Западно-Сибирской низменности). Затруднено использование этого метода в районах с молодым и динамичным рельефом, развивающимся в мощной толще отложений, коррелятивных растущим поднятиям (например, песчаные пустыни Средней Азии). В подобных районах геоморфологический анализ направлен на изучение высот, планового рисунка гидрографической и овражной сети, заболоченных участков и т. п. В областях материкового оледенения с мощным покровом рыхлых отложений новейшие структуры и разрывы проще обнаруживать на площадях озерно-ледниковых низин с относительно небольшой толщиной осадков, чем на возвышенностях, сложенных многометровой толщиной пород.

Пассивные, литологически обусловленные структурные элементы рельефа сравнительно легко обнаруживаются в районах с глубоким эрозионным расчленением и неоднородным составом пород, например в Поволжье. В области морских шельфов наиболее достоверными признаками тектонических структур служат положительные формы абразионно-расчлененного рельефа с подводными грядами и камнями (морские банки), а также грязевулканические сопки, приуроченные к сводам крыльев

или периклинальным окончаниям антиклинальных складок. Для выявления тектонических структур морских шельфов используются морфометрические и морфографические данные, получаемые с морских карт, аэрофотоснимков и в результате специальных промерных работ.

Для выявления положительных морфоструктур в песчаных пустынях прежде всего необходимо выделить площади преобладающего развития дефляционного и аккумулятивного эолового рельефа. Например, установлено, что областям относительно устойчивого воздымания, например Центральному Каракумскому своду, Западно-Заунгузскому валу, свойствен дефляционный рельеф, а погружающимся участкам — эоловая аккумуляция (Заунгузский прогиб). Локальные положительные морфоструктуры проявляются в песчаных пустынях в виде сочетаний возвышенных куэст, столовых гор и форм эолово-эрозионного рельефа, в смене ориентировки и форм песков, в глубине расчленения песчаных массивов. О росте отрицательных структур можно судить по развитию депрессий, степени затакыренности, заболоченности и солончаковатости. Но песчаный рельеф отражает лишь деформации, происходившие после завершения предэоловой аккумуляции, поэтому изучение его не может дать полного представления о развитии новейших тектонических движений. Эоловые равнины — это один из наиболее сложных объектов структурно-геоморфологической интерпретации.

В таежных и субарктических областях неотектоническая активность структур проявляется в степени заозеренности и перемещении озер, заболоченности и течения болот, развитии криогенных форм и т. п. По данным В. Б. Полкановой (1963), в закрытых районах Западной Сибири признаками проявления движений положительного знака служат: останцы поверхности с цоколем более древних пород, чем окружающие; реликты древней гидрографической сети на водоразделах — свидетели перемещений водотоков с участков растущих поднятий; бифуркация, или резкое изменение направления долин рек и ложбин периодического стока, отмирание мелких водотоков; осушение болот на участках растущих поднятий; осушение озерных котловин с террасами, свидетельствующими о направлении перекосов поверхности; сквоз-

ные долины с системой расходящихся водотоков; сужение долин и спрямление русел, выклинивание и деформации террас, смена низких пойм высокими, присутствие цокольных террас, появление в русле реки порогов и перекатов на участках искажения продольного профиля реки, резкое сокращение стариц, свежесть береговых форм вследствие преобладания глубинной эрозии над боковой. Все это наблюдается на участках растущих положительных структур при пересечении их долинами рек.

О тенденции отдельных участков к опусканию свидетельствуют расширение речных долин и отдельных элементов долинного комплекса, обводнение террас, понижение их высот и отсутствие четких уступов, усиление боковой эрозии и заиление. Все эти данные полезно дополнить наблюдениями за ландшафтными признаками проявления морфоструктур.

Содержание работ по структурно-геоморфологическому анализу в значительной степени зависит от степени соответствия структурных планов самых верхних сводов антиклинальных структур (рельефа) и глубинных нефтегазоносных толщ. В этом отношении наиболее благоприятны для постановки структурно-геоморфологических исследований платформенные области, где развитие структур чаще всего происходит унаследованно и явления несоответствия структурных планов нехарактерны. Известны такие структуры и в Ферганской долине, где различия между поверхностным строением антиклиналей и их строением на глубине состоят лишь в меньших размерах и более резкой форме глубинных антиклиналей. С увеличением мощности молассовых отложений на поверхности эти антиклинали увеличиваются и сплаживаются.

Однако в практике поисковых работ нередки случаи несоответствия глубинных и поверхностных сводов нефтегазоносных структур. Констатация этого явления и объяснение его причин имеют большое значение для правильной интерпретации данных бурения, электроразведки и сейсморазведки, а также для оценки степени сохранности нефтегазоносной залежи. Смещение сводов структур может вызываться региональным увеличением мощности отложений, денудационно-эрозионными и тектоническими причинами.

Смещения, вызываемые предыдущим размытием погребенного тектонического поднятия, известны в Ферганской долине (рис. 13). Величина смещения свода зависит здесь от расстояния перемещения древней водораздельной линии по отношению к оси размытой антиклинали. Но в условиях континентального осадконакопления

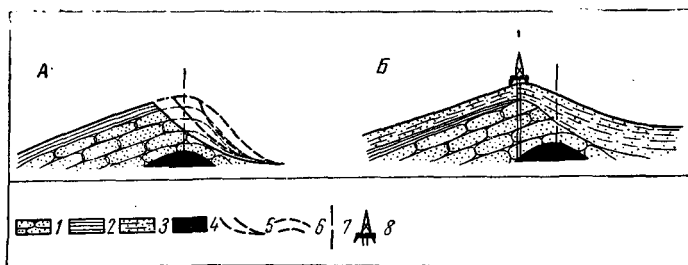


Рис. 13. Эрозионно-денудационный тип смещения свода антиклинальной структуры:

А — размыв крутого крыла антиклинальной структуры, Б — образование складки облекания в отложениях, перекрывающих антиклинальную структуру:

1 — коллекторская толща, 2 — экранирующая толща, 3 — морские осадки, 4 — залежи нефти, 5 — профили долин водотоков, размывавших крутое крыло антиклинальной структуры, 6 — положение размытого свода структуры, 7 — ось структуры, 8 — буровая скважина по оси структуры

образование таких складок менее вероятно, так как осадки, перекрывающие погребенную возвышенность, образуют не складки облекания, а прислоненные к ней слои осадков, заполняющих понижения между возвышенностями. В подобных случаях причиной смещения может быть и тектонический выступ, например надвиг, образовавшийся одновременно с формированием антиклинали.

В последнее время в структурно-геоморфологических исследованиях определились два основных направления — морфометрическое и генетическое. Морфометрические методы основаны на камеральном изучении по топографическим картам рисунка долинной сети, асимметрии долин, водоразделов и бассейнов, а также анализе специально составленных карт — порядков долин, базисных поверхностей, остаточного рельефа, уклонов гидро-

сети и других карт*. Тектонические структуры вырисовываются изолиниями непосредственно на картах или выявляются путем сопоставления ряда карт. Морфометрический метод разработан для литологически однородных и одновозрастных равнин, расчлененных густой эрозионной сетью, и наилучшие результаты дает в районах совпадения новейших и древних структур. Этот метод может быть использован на стадии предварительных камеральных исследований.

Генетическое направление основано на изучении генезиса и возраста рельефа, его истории и коррелятных отложений. В настоящее время в этом направлении определены различия в методах выявления морфоструктур. Многие геоморфологи считают, что главная задача исследования заключается в выделении и изучении полигенетических поверхностей рельефа и их деформаций. Другие же выделяют морфогенетические типы рельефа. Следует заметить, что эти различия в подходах к генетическому анализу морфоструктур в значительной степени определяются спецификой местных географических условий. Естественно, что в условиях пластово-ярусных возвышенностей Второго Баку главное внимание приходится уделять разновозрастным геоморфологическим уровням, а в областях песчаных равнин западной части Прикаспийской низменности — морфогенетическим типам рельефа. В последнем случае, прослеживая древние береговые линии, соответствующие разным стадиям отступления Хвалынского моря, Н. И. Фотева и О. К. Леонтьев (1966) пришли к выводу об унаследованности крупных изгибов берега — полуостровов и заливов, что служит признаком существования погребенных структурных зон поднятий и опусканий.

Палеогеоморфологические методы. Структурно-геоморфологические методы поисков нефти и газа пользуются сейчас большой популярностью. Однако необходимы поиски нефти и другими, в частности палеогеоморфологическими методами. Эти методы основаны на геоморфологическом прогнозе размещения залежей

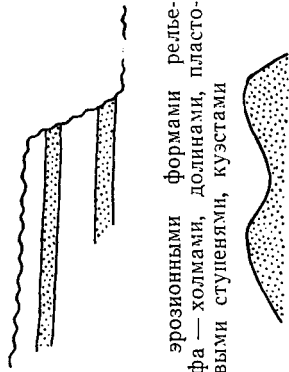

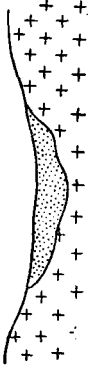
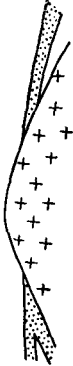
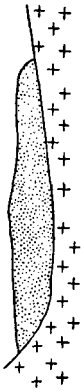
* Морфометрические методы подробно изложены в книгах: В. И. Философов «Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур». Изд. Саратовского университета, 1960; Сб. «Морфометрический метод при геологических исследованиях». Изд. Саратовского университета, 1963.

нефти в стратиграфических и литологических ловушках, приуроченных к поясам регионального выклинивания проницаемых пород. Местоположения же линий выклинивания проницаемых пород в значительной степени определяются палеогеоморфологическими условиями — положением древних береговых линий, древних дельт рек и т. п. Еще в 1912 г. на такие залежи обратил внимание И. М. Губкин, обнаружив скопления нефти в песчаных линзах русла олигоценовой реки Майкопского нефтеносного района. Впоследствии месторождения подобного типа, приуроченные к отложениям древних русел, дельт, рифов, были обнаружены в Канзасе, Оклахоме и других районах многих стран. По формам погребенного рельефа, их вмещающим, они получили название рукавообразных, или шнурковых, дельтовых, баровых, рифовых.

Шнурковые залежи отличаются небольшими размерами, слабо или вообще не проявляются на дневной поверхности, что затрудняет их поиски. Но обнаруживаются шнурковые залежи прежде всего в отложениях дельт, которые лучше сохраняются в ископаемом состоянии. Поэтому поисковые работы на шнурковые залежи нефти следует начинать с выявления палеodelьт, которые служат не только местами накопления мощных терригенных отложений, но и массового скопления органического и минерального материала. Известно, например, что крупные залежи нефти и газа сосредоточены в мощных дельтовых образованиях р. Миссисипи в районе Мексиканского залива. Прибрежная полоса этого залива, входящая в штат Луизиана, содержит 1,6 млрд. т нефти, т. е. $\frac{1}{3}$ всех запасов США (Н. И. Марковский, 1964).

Рифовые залежи нефти приурочены к погребенным рифам, состоящим главным образом из органогенных известняков. Последние накапливались в шельфовых зонах теплых и чистых морских бассейнов на глубинах 20—40 м. Задача геоморфологических исследований состоит в прогнозе размещения рифов, в частности прослеживании выходящих на поверхность рифовых останцов. Это облегчается значительной протяженностью рифов иногда на многие сотни километров. В местах выхода рифов на поверхность они проявляются в современном рельефе в виде крышеобразных или конусообразных возвышенностей. Такой характер рельефа имеют, например,

Классификация палеогеоморфологических ловушек нефти и газа (по Martin, 1960)

Влияние морфологической поверхности на залежи нефти и газа	Накопление залежей ниже древней морфологической поверхности связано с	Накопление залежей выше древней морфологической поверхности связано с
<p>Непосредственное влияние погребенных форм рельефа на образование ловушек</p>	<p>эрозионными формами рельефа — холмами, долинами, пластовыми ступенями, куэстами</p>  <p>аккумулятивными формами — барями, дюнами</p> 	 <p>коллекторскими толщами в долинах и морских проливах</p>  <p>коллекторскими толщами, приклоненными к склонам холмов</p>  <p>речными и морскими террасами</p>

<p>Влияние морфологической поверхности на залежи нефти и газа</p>	<p>Накопление залежей ниже древней морфологической поверхности связано с</p>	<p>Накопление залежей выше древней морфологической поверхности связано с</p>
<p>Косвенное влияние погребенных форм рельефа на образование ловушек</p>	<p>Накопление залежей ниже древней морфологической поверхности связано с коллекторскими толщами, выполняющими карстовые полости</p>	<p>Накопление залежей выше древней морфологической поверхности связано с линзами песчаных толщ во впадинах рельефа</p>
<p>Косвенное влияние погребенных форм рельефа на образование ловушек</p>	<p>цементацией выходов пористых пород вблизи эрозийной поверхности под действием грунтовых вод</p>	<p>толщами, образовавшимися в период морской трансгрессии при размыве нижележащих песчаников</p>
<p>1 — коллекторские толщи, 2 — неколлекторские осадочные толщи, 3 — сцементированные пористые породы, 4 — кристаллические породы, 5 — погребенные эрозийные поверхности</p>		

выходы на поверхность верхнепалеозойских рифов, прослеживающихся вдоль западного склона Урала более чем на 1000 км. С погребенными рифами связано около 50% месторождений нефти в Канаде. В табл. 2 приведена классификация Р. Мартина палеогеоморфологических ловушек нефти и газа.

Для поисков русловых, дельтовых и других литолого-геоморфологических залежей нефти палеогеоморфологический метод сочетается с литолого-фациальным. Сравнение карт погребенного палеорельефа с современным рельефом позволяет определить степень унаследованности развития рельефа и возможность поисков нефти и газа по признакам, проявляющимся в современном ландшафте.

Структурно-геоморфологические карты. Поисковые работы на нефть и газ должны сопровождаться составлением двух типов геоморфологических карт — структурно-геоморфологической и морфоструктурного районирования.

Содержание структурно-геоморфологических карт определяется подходом к их составлению. В одних случаях на них изображают типы и формы рельефа, выражающие элементы новейшей структуры — морфоструктуры разных типов, порядков и времени поднятия, поверхности выравнивания различного возраста; заозеренность, грядовость рельефа и другие косвенные признаки структур; структурные формы, разломы, флексуры и степень выраженности их в рельефе. Эти данные передаются на картах цветом, морфоизогипсами, изобатами, изолиниями, знаками.

В других случаях на картах фиксируют геоморфологические уровни и контуры морфоструктур, различных по генезису, степени унаследованности, возрасту, истории развития. Изолиниями характеризуют деформации уровней.

Морфоструктурное районирование нефтегазоносных областей проводится для выявления зон развития прямых и обращенных, унаследованных и неунаследованных морфоструктур. Оно основано на соотношении морфоструктур со структурами различных стратиграфических горизонтов, а также аномалиями геофизических полей.

Все геоморфологические исследования с целью поисков нефти и газа должны проводиться в комплексе с

геофизическими съемками (гравиметрическими, магнитометрическими). Совместный анализ геоморфологических и геофизических материалов позволяет наметить закономерные соотношения морфоструктур и аномалий геофизических полей по плану, знаку и амплитуде, а также проследить развитие морфоструктур с глубокими корнями и отделить их от наложенных морфоструктур (Ю. А. Мещеряков, 1965). Данные геоморфологических исследований должны уточняться сейсмическими и проверяться буровыми работами, объем которых после сравнительно недорогих геоморфологических работ обычно сокращается.

Наиболее актуальные ближайшие задачи морфоструктурного анализа — выявление общего тектонического плана и закономерностей размещения структурных элементов; разработка геоморфологических критериев для выделения типов новейших поднятий и особенно оценки степени унаследованности морфоструктур; разработка методов выявления структур в районах с несоответствием структурных планов и развитием эолового рельефа; выявление палеогеоморфологических условий формирования залежи нефти и газа; структурно-геоморфологическое районирование СССР для выбора наиболее рациональных методов исследований.

ЭЛЕМЕНТЫ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПОИСКАХ МАГМАТИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Образование магматических и постмагматических месторождений не контролируется геоморфологическими условиями, поэтому изучение рельефа при их поисках имеет второстепенное значение. Однако и в этом случае некоторые геоморфологические наблюдения могут оказать помощь при поисках не только открытых месторождений, но и тех, которые не выходят на поверхность. Наиболее общим геоморфологическим фактором, учитываемым при поисках магматических месторождений, может быть признана глубина денудации изверженных массивов (глубина эрозионного среза). Не излагая существа известного учения о геохимических критериях (В. Эммонс, 1924; А. Е. Ферсман, 1936), но выявляя недостатки его, справедливо отмеченные М. А. Усовым, С. С. Смирновым, уместно напомнить о том, что глубина

среза в конечном итоге определяется возрастом денудационного рельефа данной территории. В зависимости от глубины денудации, возраста и характера рельефа на земную поверхность проектируются различные по площади и составу ассоциации руд*. В целом при приближении уровня эрозионного среза к верхним частям интрузивов количество месторождений и их суммарные запасы повышаются. В. И. Смирнов считает целесообразным выделить три уровня эрозионного среза рудоначальных интрузивов (В. И. Смирнов, 1957): уровень, не достигающий до интрузивов, мелкий и глубокий. Такие уровни денудации характерны, например, для молодого рельефа Кавказа, Копет-Дага, горного окружения Ферганской котловины, где вскрыты лишь верхние концентры гранитных батолитов, несущих свинец, цинк, мышьяк, ртуть, сурьму; старого рельефа мелкосопочного Казахстана, где на поверхность выходят постмагматические рудные месторождения свинца, цинка, меди, вольфрама, золота, олова и др.; древнего рельефа Карелии, где вскрываются месторождения корней магматических очагов (молибден, редкие металлы).

Кроме анализа глубины денудации и возраста поверхности, при поисках магматических месторождений целесообразно изучать формы рельефа, характерные для изверженных и метаморфических пород, формы рельефа, выражающие разломы, геоморфологические условия изменения и проявления на поверхности некоторых рудных месторождений.

На контакте денудированного интрузивного массива с осадочными породами образуется иногда кайма холмистых возвышений, сложенных твердыми породами контактовой зоны, с которой связаны многие постмагматические, в частности скарновые месторождения. Характерные формы рельефа в виде четко оконтуренных хол-

* На поверхности земли геохимические концентры чаще имеют причудливые и неясные контуры, которые зависят не только от проявления некоторых металлогенических факторов, но и от уклонов современной поверхности, густоты и глубины ее расчленения. Классический пример геохимической зональности — район Корпуола (Англия), где известна закономерная смена ассоциаций рудных месторождений от очага к периферии: олово, вольфрам, висмут, мышьяк, медь, цинк, свинец, серебро, сурьма. Хорошие примеры зональности известны также в Восточном Забайкалье, Армении, Средней Азии.

мов образуются на месте выхода даек и штоков. Рудные месторождения тяготеют также к разломам и местам их пересечения. Они отражаются в рельефе спрямленными участками долин, грядами, уступами.

Приближаясь к поверхности земли, магматические месторождения испытывают значительные изменения. Как уже говорилось, некоторые из них, например металлоносные кварцевые жилы, окварцованные породы, препарируются в виде бугров и гребней. Другие же, менее устойчивые, образуют понижения в рельефе. Еще более значительные изменения происходят в приповерхностных частях сульфидных месторождений. Степень их изменения зависит от климата, интенсивности эрозии, химизма вод, состава и строения рудных тел, характера вмещающих пород. Геоморфологические исследования районов сульфидных месторождений могут дать общие сведения о положении, форме и глубине залегания месторождений, мощности и динамике зоны окисления.

Самые благоприятные условия для образования мощных зон вторичного сульфидного обогащения имеются там, где скорость окисления несколько больше скорости эрозии. В таком случае в условиях жаркого и теплого умеренно-влажного климата на холмистых равнинах в зоне обогащения может сконцентрироваться металл, полученный из серии последовательно срезавшихся эрозией участков месторождения. В. И. Смирнов (1957) считает, что «в высокогорных резко расчлененных районах с большой скоростью эрозии рудные тела могут выходить на поверхность в слабо измененном или вовсе неизменном виде». Примером благоприятного сочетания гидрогеологических и геоморфологических условий для образования зоны окисления может служить степная часть Казахстана, где ее мощность достигает нескольких десятков метров.

В зависимости от минералогического состава месторождения процессы окисления могут приводить к сокращению объема рудной залежи или, наоборот, к его увеличению. В первом случае уменьшение объема месторождения и осадка вышележащих пород происходят за счет выноса свинца, цинка, меди из зон окисления в более глубокие зоны. Над рудными телами на поверхности создаются понижения, которые в зависимости от размеров, формы и глубины залегания тела полезного иско-

паемого принимают вид блюдец, ложбин, колодцев. Эти процессы окисления сульфидных руд и образования надрудных понижений особенно энергично протекают в известняках. Надрудные понижения рельефа уже давно использовались геологами как хороший поисковый признак. По данным Уиссера (1927), надрудные понижения в Бисби (Аризона) позволяли обнаруживать по ним даже такие рудные тела, которые залегали на глубинах свыше 200 м. Позже явления надрудного оседания изучались В. И. Смирновым (1939) в Таласском Алатау. В. И. Смирнов разделил надрудные понижения на два типа — воронки и мульды. Первые имеют стенки с углами до 10—20° и развиваются на малорасчлененных и платообразных участках или пологих склонах. Вытянутые мульдообразные понижения образуются над мощными рудными телами на территориях с сильно расчлененным рельефом. Ширина надрудных понижений от 2 до 30 м, глубина от 0,5 до 4 м. Размеры понижений закономерно связаны с размерами рудных тел. По данным разведочных выработок, вскрывших под понижениями рельефа рудные тела, поперечник понижений обычно превышал ширину рудного тела в 1,5—3 раза.

В случае окисления арсенопиритовых руд над телом полезного ископаемого могут образовываться бугры. В процессе окисления арсенопирит переходит в скородит, что вызывает увеличение объема руды в 2—2,5 раза. Процесс увеличения объема рудной массы сопровождается развитием внутренних напряжений, которые выжимают скородит за пределы рудной полости. На поверхности этот процесс выражается вспучиванием и образованием пологих бугров.

Мощность измененных руд зависит от положения уровня грунтовых вод. Последний же, как известно, следует основным контурам рельефа поверхности и регулируется положением базиса эрозии. Резкое понижение базиса эрозии вызывает интенсивное опускание нижней границы участков измененных руд, а повышение его приводит к тому положению, при котором нижняя граница окисленных руд оказывается ниже уровня грунтовых вод. Так как положение базиса эрозии фиксируется уровнем террас, то, изучив их, можно судить о глубине и скорости опускания зоны окисления, ее мощности и степени проработанности.

По мнению И. И. Гинзбурга, геоморфологическое изучение месторождений с окисленными зонами «показывает, на каких абсолютных отметках следует искать железные шляпы, т. е. помогает определить отметки, на которых железная шляпа и кора выветривания могли образовываться и сохраняться, и возможную приуроченность их нижней границы к уровням определенных террас» (И. И. Гинзбург, 1952). Правильная организация поисков сульфидных месторождений, по-видимому, должна сопровождаться достаточно глубоким геоморфологическим анализом развития гидрографической сети и изменения ее базисов эрозии в историческом прошлом.

Проблема поисков магматических месторождений геоморфологическими методами за последние годы значительно продвинулась. Разработан прием обнаружения по особенностям рельефа рудоконтролирующих структур. Теоретической основой для решения этой проблемы на территории Забайкалья послужил сопряженный анализ тектонической трещиноватости рудных полей и рисунка долинно-балочной сети (Ю. Г. Симонов, А. А. Лукашев, 1969 и др.). Увеличение трещиноватости горных пород от бортов долин к днищам указывает здесь на совпадение наиболее раздробленных частей разломов с тальвегами. Таким образом, перспективные участки рудоносных нарушений, по-видимому, лежат под отложениями долин. Проведенные работы открывают путь для развития нового направления в прикладной геоморфологии — рудной геоморфологии.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Почти любое строительство начинается с изучения природных условий, влияющих, а иногда и определяющих размещение и возведение сооружений, их эксплуатацию, стоимость строительных работ. В зависимости от назначения сооружения оценка его природной обстановки обычно проводится по нескольким факторам, которые определяют решение инженерной задачи. Среди главных факторов видное место принадлежит рельефу — морфометрическим и морфографическим данным, его происхождению и развитию. Многообразное сочетание рельефа с различными типами сооружений, их конструкциями и размерами делают необходимыми в каждом отдельном случае специальные исследования рельефа. Как правило, эти исследования проводятся в составе комплексных инженерно-геологических работ.

Роль и значение геоморфологии для инженерно-геологических исследований понималась по-разному. Вначале инженеры-геологи видели назначение геоморфологии главным образом во внешнем описании форм рельефа, которое давало общее представление о возможностях строительства сооружений и рациональном размещении буровых разведочных скважин (З. А. Макеев, 1936; Н. И. Николаев, 1937; Ф. П. Саваренский, 1939). Примерно в те годы впервые был введен в употребление термин «прикладная геоморфология» (Г. Н. Каменский, 1934; З. А. Макеев, 1936). Позже геоморфологическим условиям стали придавать значение решающего фактора инженерно-геологической оценки местности (И. В. Попов, 1951).

В настоящее время, когда содержание инженерной геологии понимается геологами очень широко, геоморфологические и другие физико-географические исследования стали занимать здесь не меньшее место, чем механика грунтов. Крупные разделы инженерно-геологической науки — инженерно-геологические процессы, инженерно-геологическое картирование — в значительной части приобрели геоморфологическое и даже географическое содержание. Однако до сих пор геоморфологические методы исследований не заняли в инженерно-строительном деле того места, которое они должны занимать по праву. Одна из ближайших задач геоморфологической науки — разработка методики инженерно-геоморфологических исследований.

Общая задача инженерно-геоморфологических исследований состоит не только в оценке рельефа с точки зрения инженерно-геологических условий, но и в более широкой комплексной инженерно-географической оценке территории строительства. При этом геоморфологи изучают главным образом естественный рельеф и природные процессы на первых стадиях проектирования инженерных сооружений, когда составляется общий план размещения сооружений, намечаются несколько вариантов и выбирается один из них. На этих стадиях (технико-экономического доклада — ТЭД и проектного задания) рельеф оценивается с точек зрения общего плана размещения сооружений и технических условий проектирования, природных рельефообразующих процессов, влияющих на устойчивость сооружений и их эксплуатацию, и действия инженерных сооружений на природные процессы.

РЕЛЬЕФ, ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рельеф изучается при решении очень широкого круга инженерных и экономических задач — районных планировках промышленных объектов, городов и сельских поселков, строительстве железных и шоссейных дорог, плотин и водохранилищ, прокладке нефте- и газопроводов, оценке проходимости местности и других видах работ. Можно выделить несколько проблем, изучение которых представляет общий интерес почти для всех видов проектирования и строительства.

Одна из общих проблем состоит в установлении взаимных связей между рельефом и инженерным сооружением. Попадая в определенную природную обстановку, инженерный объект становится ее частью и испытывает на себе влияние всего комплекса природных условий. Обычно через некоторое время после ввода в эксплуатацию инженерное сооружение само оказывает воздействие на окружающий ландшафт. Среди многих природных факторов, влияющих на сооружение, выделяются ведущие, которые определяют условия строительства и эксплуатации объекта. Очень часто таким решающим фактором оказывается рельеф, особенно в сочетании с грунтами и климатом. Связи и отношения между ведущими факторами и инженерным сооружением очень многообразны и сложны, поэтому целесообразно установить показатели этих связей. Показатели должны отражать наиболее характерные инженерные свойства рельефа как в качественном, так и количественном отношении. Они должны быть немногочисленны, просты и служить наиболее комплексным выражением суммы природных факторов, воздействующих на сооружение.

Выделяют три типа инженерно-геоморфологических показателей: косвенные показатели, основанные на генетических связях между инженерным сооружением, рельефом и другими природными компонентами (в данном случае инженерные свойства рельефа рассматриваются с точки зрения влияния на него местных климатических, геологических, ботанических и других условий); интегральные показатели, содержащие в своей основе данные об историческом развитии рельефа данной территории; дифференцированные показатели, представляющие собой конкретные геоморфологические объекты — формы, элементы рельефа, оказывающие непосредственное влияние на инженерные сооружения. Наиболее просты в употреблении и поэтому чаще используются дифференцированные геоморфологические показатели. Во многих случаях взаимоотношения между рельефом и инженерным сооружением выражаются различными морфометрическими показателями, например расчленением рельефа. В расчлененности рельефа отражаются его многие инженерные свойства: соизмеримость элементов рельефа с пространственными размерами инженерного сооружения, динамичность процессов рельефообразова-

ния, устойчивость рельефа и т. п. Кроме того, при учете местных географических условий расчленение рельефа косвенно служит выражением генезиса и уклона поверхности, состава пород, выходящих на поверхность, степени задернованности почв, возраста поверхности.

Численные характеристики показателей обычно меняются в зависимости от практических целей исследования. Если при проектировании сети ирригационных каналов и орошаемых полей инженера интересуют глубины расчленения рельефа, начиная с 20 см, и углы наклона порядка 5%, то проектировщик дорог обращает внимание на значительно большие глубины расчленения и уклоны рельефа. Это вызывает необходимость разработок специальных шкал морфометрических показателей для различных практических целей.

Наиболее благоприятные условия для строительства создаются при гармоническом сочетании ведущих природных факторов и технических условий проектирования. В таком случае сооружение вписывается в рельеф без существенных изменений последнего. Гармоническое сочетание рельефа и инженерных сооружений лежит в основе метода свободной застройки территории, применяемого сейчас в жилищном строительстве. Этот метод исключает крупные объемы работ по планировке рельефа, рационально использует его естественные свойства. Аналогичный метод «вписывания» в рельеф применяется в практике проектирования дорог.

Однако такое сочетание природных факторов и инженерных объектов встречается не всегда и чаще между ними возникает дисгармония. Для соблюдения технических правил проектирования и безопасности работы сооружения приходится создавать новый устойчивый рельеф, приспособляя его к проектному заданию. В сложных природных условиях возникает необходимость не только в формировании искусственного рельефа, но и проектировании всего ландшафта. Наиболее распространенный прием создания искусственного рельефа — вертикальная планировка рельефа: срезка возвышенностей и засыпка понижений. Вертикальная планировка снижает отметки и уничтожает отрицательные формы рельефа. Кроме того, почти при любом строительстве приходится делать выемки, насыпи, террасировать склоны, изменять их углы. Перестройка существующего рельефа нередко

нарушает закономерности его строения, поэтому важен прогноз развития взаимоотношений рельефа и инженерного сооружения. При проектировании нового рельефа нужно выдерживать принцип подобия — т. е. создавать искусственные формы рельефа по типу наиболее благоприятных для местных условий элементов естественного рельефа. Чаще всего это имеет место при создании откосов, несоответствие углов которых углам естественных склонов значительно ослабляет устойчивость рельефа. Формирование искусственного рельефа по принципу наиболее полного использования благоприятных свойств его естественных аналогов — другая общая инженерно-геоморфологическая проблема.

Для инженерной оценки рельефа чаще всего пользуются морфометрическими и кинематическими (динамическими) методами.

Морфометрические методы в инженерно-геоморфологических исследованиях основаны на изучении размерностей рельефа, т. е. определении линейных размеров: длин склонов, длин и ширины долин, периметров бассейнов. Эти данные необходимы для вычисления размеров различных сооружений, например длины плотин, мостовых переходов и т. п. Линейные измерения позволяют получить другие морфометрические характеристики рельефа — площади, уклоны, густоту и глубину расчленения рельефа*.

Американский геоморфолог А. Стралер, автор ряда работ о применении в геоморфологии количественных методов, обозначает линейные размеры рельефа символом L (Стралер, 1958). Площадь бассейна определяется как произведение результатов двух линейных измерений и обозначается символом L^2 . Объем формы рельефа обозначается символом L^3 . Уклон, представляющий отношение двух линейных величин, относится Стралером к

* Уклоны поверхности при проектировании инженерных сооружений чаще выражают в процентах (%), характеризующих отношение вертикальных превышений к горизонтальному расстоянию. При сельскохозяйственной оценке рельефа, так же как и при определении с любыми целями углов склонов оврагов и балок, уклоны дают в градусах. Так как отношение вертикального превышения к горизонтальному расстоянию есть тангенс угла наклона поверхности, обе системы можно переводить одна в другую с помощью таблиц тригонометрических функций.

пространственным величинам, обозначаемым символом 0 (нуль). Густота речной сети приобретает размерность

$$\frac{1}{L} = L^{-1}.$$

Для определения среднего угла склона можно использовать формулу Финстервальдера и Пейкера

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{hl}{S},$$

где h — сечение горизонталей, l — средняя длина соседних изогипс, S — площадь между ними.

Данные о густоте и глубине расчленения рельефа, его уклонах необходимы для определения общего плана размещения сооружений, проектирования профиля и плана укладки трубопроводов, трасс дорог и других объектов.

Площадь и объем рельефа можно определить, пользуясь приемом подобия фигур — правильных геометрических и неправильных фигур с естественными формами рельефа. Подобие правильных геометрических фигур выражается соотношением размеров соответствующих элементов — длины к ширине, периметра к площади и т. п. Например, для вычисления объема земляных работ при устройстве выемки в плосковершинной гряде или увале можно приравнять его к объему трапеции и выразить объем необходимых земляных работ математически. Математическое выражение свойств неправильных фигур достигается сравнением их с подобными правильными фигурами, например, площадь какой-либо территории с площадью вписанного в нее квадрата, круга и т. п.

Существует много приемов численного анализа рельефа, разработанных для решения различных инженерных задач: «кривая пересеченности рельефа» и «начальный уклон местности» М. М. Протождяконова, использованные при проектировании железных дорог, «ритм рельефа» А. А. Борзова, применявшийся в работах по размещению постоянной и временной оросительной сети, «насыщенность рельефа горизонталями» П. М. Орлова — прием, который можно использовать при оценке проходимости местности, и т. п.

Почти все способы численного анализа рельефа имеют общие и частные недостатки. Общий недостаток многих из них — нахождение показателей для отдельных форм рельефа или по выбранным профилям, которые не только не дают представления о всей территории, но и довольно случайны, так как зависят от выбранного направления профиля. Для морфометрического изучения территорий нужно выбирать небольшие и простые в природном отношении участки, однородные по геологическому строению, климату, современным эрозионным процессам, возрасту. В связи с внедрением в инженерное проектирование математических методов и электронной вычислительной техники роль морфометрических методов в инженерно-геоморфологических исследованиях будет возрастать.

Кинематическими, или динамическими, методами определяют изменения пространственных соотношений рельефа во времени. Основные величины, с которыми оперируют кинематические методы, — время и масса. А. С. Девдариани (1961) различает методы измерения современных изменений рельефа (геодезические, фотограмметрические, гидрометрические, сейсмометрические, астрономические и т. п.) и методы измерений прошлых перемещений (геоморфологические, геологические, биогеографические и др.). При измерении современных перемещений воды, снега, грунта один или несколько замеров совпадают с моментом перемещения или предшествуют ему. Прошлые изменения всегда измеряются после момента перемещения.

А. С. Девдариани предложил следующую классификацию методов измерения современных и прошлых перемещений земной поверхности*.

I. Методы, основанные на наблюдениях за движением частиц земной коры, или субстанциальные. К числу этих методов, основанных на измерении современных перемещений, относятся, например, наблюдения за изменением положения маркированной линии поверхности при движении ледников и осыпей, за наклоном древес-

* Подробно эта классификация изложена в статье А. С. Девдариани «Задачи геоморфологии в связи с измерениями перемещения земной поверхности» («Вопросы географии», 1961, сб. 52), а также в его книге «Измерение перемещений земной поверхности» (М., «Наука», 1964).

ных стволов при движении оползней. Анализ речных террас, глубин эрозионных врезов, деформаций поверхностей выравнивания, высот снеговой границы и ландшафтных поясов, этажей карстовых галерей используется для измерений прошлых перемещений.

II. Методы, основанные на наблюдениях за изменением положения поверхности, или локальные. Эти методы состоят в повторных топографических и батиметрических съемках. Сравнение карт, составленных на основании этих съемок, позволяет определить по разностям отметок горизонталей размеры перемещения поверхности в вертикальном и горизонтальном направлениях. Эти методы используются для измерения размеров абразии и осадконакопления, склонового смыва, развевания и навевания, просадок, овражной эрозии, глубинной эрозии и т. д. При этом можно использовать и палеогеоморфологические наблюдения, например, за миграцией дельт, урезом рек, береговых линий. Подобные данные нужны для измерения прошлых перемещений.

III. Методы, основанные на наблюдениях за движением потоков частиц, или балансовые. Этими методами измеряют приход и расход твердого стока реки, денудационный вынос в бассейн, снос рыхлого материала по склону, сток и приток растворенных веществ с участка развития карстовых форм; производят анализ отложений, коррелятных процессам денудации, оврагообразованию. Например, если приход наносов на исследуемый участок больше, чем расход с него, то, по-видимому, избыток наносов остался на участке и поверхность его повысилась на величину, полученную от деления объема осевших наносов на площадь участка.

Таким образом, субстанциальные методы применяют только для изучения процессов с ограниченными пределами изменения взаимного положения частиц (оползни, просадки, пучение и т. п.). Локальные и балансовые методы используют при изучении процессов, сопровождающихся значительными изменениями взаимного расположения частиц (абразия, эрозия, развевание и навевание и т. п.). Локальными методами измеряют перемещения в данной точке поверхности, а балансовыми — осредненные перемещения по площади. Сравнение размеров изменений в рельефе, происходящих за различные промежутки времени, дают представление об их скорости

(мм/год — для вертикальных, м/год — для горизонтальных перемещений, м²/год — для скорости площадного роста эрозионных форм и м³/год — для скорости их объемного роста). Помимо морфометрических и кинематических методов исследования, можно говорить и о морфологических приемах изучения перемещений поверхности. Но эта система изучения еще не создана. Один из возможных путей разработки такой системы состоит в выявлении таких морфологических особенностей рельефа территории, которые могут служить выражением не только типа перемещения, но и его скорости, интенсивности, времени и т. д. Например, по морфологии оврагов — форме его вершины в плане, высоте вершинного перепада, продольному профилю долины, склонам и днищу оврага, наличию или отсутствию в его бассейне четких водоподводящих ложбин — можно судить о степени интенсивности роста оврага. Положение форм рельефа различных генетических типов по отношению друг к другу свидетельствует о смене типов перемещений и т. п.

Все измерения рельефа и перемещений поверхности сопровождаются статистической обработкой материалов, постановкой стационарных наблюдений, лабораторных исследований и работ по моделированию процессов, типов и форм рельефа.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СВОЙСТВА И ПРОГНОЗ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Одна из важнейших проблем — проблема изучения инженерных свойств природных процессов*. Образование оврагов, оползней, карста и лавин в геоморфологии называют рельефообразующими, или экзогенными, процессами, в геологии — физико-геологическими, в инженерной геологии — инженерно-геологическими, а в географии — физико-географическими. В инженерной геологии под этим понимают «явления и процессы, возникающие под влиянием инженерной деятельности

* В настоящей книге рассматриваются природные процессы, развивающиеся в сфере влияния хозяйственной деятельности человека, т. е. главным образом экзогенные процессы.

человека» (Г. Н. Каменский, 1936). Многие геологи уточняли понятие «инженерно-геологический процесс» главным образом за счет его расширения. Под инженерно-геологическими процессами и явлениями Ф. В. Котлов (1963) понимает антропогенные геологические явления и процессы, т. е. такие, которые вызываются не только инженерной, но и другими видами хозяйственной и культурной деятельности человека. Правда, эта деятельность, по словам самого же автора, «выходит за пределы инженерной практики (земледелие, лесоводство, садоводство и т. п.)». В зависимости от влияния человека Ф. В. Котлов делит современные геологические процессы и явления на три категории.

1. Природные геологические процессы и явления, не испытывающие влияния деятельности человека. К таким процессам условно относятся выветривание, морская абразия, речная эрозия, оползни, сели и т. п.

2. Природно-антропогенные, которые возникают без участия человека, но количественно и качественно изменяются им.

3. Антропогенные геологические процессы и явления, целиком вызванные деятельностью человека.

Последнюю категорию явлений и процессов, по-видимому, и целесообразно относить к собственно инженерно-геологическим процессам. Они возникают под влиянием местных «концентрированных» условий, созданных человеком, имеют небольшую площадь распространения и интенсивно проявляются. К числу таких процессов И. В. Попов относит уплотнение пород в основании сооружений, просадки в лёссах вследствие утечек из водопроводов и фильтрации из каналов, деформацию искусственных откосов, смещение масс горных пород при подземных работах и т. п.

Природные процессы, возникшие без участия человека, но развивающиеся как при его, так и без его влияния, правильнее называть физико-географическими процессами, так как причины их возникновения комплексны. В этом комплексе факторов тектонический и литологический, безусловно, очень существенны, но далеко не главные и не единственные. Например, овраги возникают в различных геологических условиях, но всегда на склонах. Для образования селевых потоков режим выпадающих осадков, форма водосборного бассейна и русла,

задернованность склонов не менее важны, чем выветренность горных пород. Основными причинами возникновения лавин считают перекристаллизацию снега, рельеф подстилающей поверхности и климатические особенности. Главная причина переработки берегов водохранилищ — ветровое волнение. Комплексному характеру причин, вызывающих эти процессы, соответствует комплексный характер инженерных мероприятий по борьбе с ними. Наконец, следует напомнить, что почти все эти процессы зависят от современных физико-географических условий и в значительной степени подчинены зонально-географическим особенностям территории.

Геология изучает участие природных процессов в образовании рыхлых осадочных толщ. Общую геоморфологию в основном интересует современное развитие физико-географических процессов как факторов рельефообразования, а прикладную геоморфологию, кроме того, динамические инженерные свойства этих процессов и прогноз их развития.

Динамичность процессов. Процессы эрозии, абразии, образования селей и лавин, осыпей и обвалов, снежные и песчаные заносы, карстовые, суффозионные, оползневые, мерзлотные процессы обладают очень важным свойством — динамичностью. Она выражается в изменчивости форм рельефа во времени и в пространстве и представляет наибольшую опасность для сооружений, рассчитанных на постоянное положение и определенный срок. Динамичность и степень опасности некоторых физико-географических процессов для инженерных сооружений характеризуются эволюцией, стадийностью, скоростью, последовательностью, постоянством или непостоянством активного проявления, внезапностью, частотой и продолжительностью, силой и пределами продвижения и возможностью их совместного направленного действия. Быстрые изменения рельефа создают неустойчивые условия для строительства. Установив стадию развития, в которой находится сейчас рельеф и его отдельные формы, можно предсказать направление дальнейшего их развития, установить потенциальные возможности возобновления тех или иных неблагоприятных явлений, заранее предвидеть вероятные результаты инженерной деятельности человека и предусмотреть меры борьбы с неблагоприятными процессами.

Однако решение всех этих вопросов часто затрудняется из-за неразработанности проблемы эволюции различных геоморфологических явлений. В настоящее время известны лишь немногочисленные попытки установления путей эволюции рельефа: оползневое (К. С. Оводов), карстового (Н. И. Николаев, Н. А. Гвоздецкий), овражного (В. В. Докучаев, С. С. Соболев, Д. Л. Арманд, А. С. Кесь), эолового (В. А. Дубянский, Б. А. Федорович) и т. д. К сожалению, эти попытки часто основаны на принципиально различных приемах, что делает невозможным сравнение и взаимную увязку действия этих процессов ни в теоретических, ни в практических целях. При установлении закономерностей эволюции различных явлений должны быть учтены факторы, от которых в основном зависят различия в путях развития рельефа. Такими факторами могут быть состав и структура пород, рельеф, гидрологические условия, климат (табл. 3).

Таблица 3

Основные факторы эволюции важнейших для инженерных сооружений геоморфологических явлений

Геоморфологические явления	Основные факторы, определяющие пути эволюции
Оползни, обвалы, осыпи	Условия увлажнения склона (поверхностное и подземное увлажнение, линейное русловое или площадное пластовое увлажнение). Геологическое строение склона (твердые, рыхлые или пластичные породы; структура пород, залегание пластов). Относительная высота и крутизна склона
Сели, лавины, песчаные и снежные заносы	Величина амплитуды метеорологических элементов (резкие колебания температур, ветра, осадков). Степень увлажнения движущей массы. Рельеф подстилающей поверхности
Карст, суффозионные западины	Состав пород (степень растворимости, водопроницаемости пород). Условия стока атмосферных вод. Степень обнаженности поверхности

Ход и современная стадия развития рельефа отражаются на его внешнем облике, что может быть использовано для определения генетического ряда оползневых, карстовых, овражных и других форм. Установление генетического ряда возможно путем анализа развития явления, определения переходных черт в строгости форм рельефа, анализа взаимного расположения форм рельефа различных стадий развития и соотношение их с новейшими рыхлыми образованиями, измерений размеров форм рельефа, анализа расположения форм рельефа одного генетического ряда по отношению к формам рельефа другого ряда.

Определение и измерение процессов, находящихся на начальных стадиях их развития, можно проводить топогеодезическими и фотограмметрическими методами, а также использовать для этого такие чуткие и быстро реагирующие на изменения рельефа компоненты природной среды, как растительность. Так, начальные стадии оползневого процесса можно установить по искривлению стволов деревьев и обнажению корневой системы, разрывам дернового слоя, появлению некоторых видов растений. Более поздние стадии процесса проще опознаются по специфическим формам их рельефа.

Скорость физико-географических процессов, формирующих, например, овраги, карстовые воронки, оползни, определяется комплексом факторов, среди которых наиболее существенны климатический режим, характер подстилающего рельефа и горных пород. Суммарный эффект влияния этих факторов на скорость физико-географических процессов выражает степень активности процесса. Основным показателем этой величины — количество вещества, принесенного или удаленного с единицы площади в течение определенного промежутка времени.

В зависимости от вида процесса показатели активности или интенсивности могут выражаться по-разному. Показателями интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов, по Н. И. Маккавееву (1953), являются объем (или вес) удаленного вещества с единицы площади в единицу времени, длина пути, который совершает переносимый материал в единицу времени, и объем или вес материала, отложенного за единицу времени на единицу площади.

Скорость карстового процесса может выражаться объемом породы, выносимой из массива за определенный промежуток времени. Показателем активности карстового процесса в данном случае служит отношение объема растворенной породы (v), выносимой подземными водами из этой области, к общему объему карстующихся пород (V) за определенный отрезок времени, выраженное в процентах (Н. В. Родионов, 1949),

$$A = \frac{100v}{V}$$

Согласно расчетам Н. В. Родионова, степень активности карста для Крыма равна 0,08%, для района Сочи — 1%, для засушливых районов Средней Азии — 0,001%.

Об активности развития природных процессов могут свидетельствовать следующие геоморфологические признаки: внешний облик рельефа, например, значительное расчленение, резкость его форм; одновременное присутствие форм рельефа различных стадий развития; широкое развитие молодых форм на различных элементах коренного рельефа; широкое развитие молодых форм рельефа при отсутствии угасающих как свидетельство деградации процесса. В конечных стадиях развития рельефа скорость процесса обычно замедляется. Активное развитие оврага прекращается при переходе его в балку, карста — при забивке глинистым материалом понор и заполнении впадин водой, суффозионных блюдечек — при обильном замачивании просадочных толщ и переходе блюдечек в эрозионные ложбины, оползни затухают в стадии выработанного профиля равновесия склона и дренажа их оврагами.

Выражением интенсивности процесса может служить также частота его проявления во времени и плотность распространения соответствующих форм рельефа. Для некоторых процессов частота проявления (площадная) выражается количеством или длиной соответствующих форм рельефа на 1 км² (овраги, карст, суффозионные западины), а также отношением площади, занятой соответствующими формами рельефа, к общей площади пород, определяющих развитие данного процесса и форм рельефа (карстовые, суффозионные формы).

Данные о скоростях физико-географических процессов и изменении соответствующих форм рельефа необходимы для выбора места защитных сооружений (например, расстояния закладки лесной полосы от вершины оврага), для определения степени устойчивости местности, для исчисления ударной силы процесса и т. д.

Для лавин, селей, оползней выражением скорости процесса может служить их повторяемость во времени на одном и том же участке и продолжительность активного действия.

О повторяемости процесса в одном и том же месте можно судить по некоторым морфологическим признакам. Например, о неоднократном возобновлении глубинной эрозии свидетельствует ступенчатая форма склонов балок и оврагов, о повторяемости оползневых процессов — ступенчатая поверхность оползневого склона, о повторяемости селей и лавин — количество и относительная свежесть грязе-каменных и снежных конусов выноса. По уклонам, форме склонов гор и лавинного снегобора можно судить о частоте снежных обвалов (большие снегосборные карово-эрозионные воронки способствуют частому падению лавин). Представление о продолжительности активного проявления процесса в каждом отдельном случае дает отношение сечения канала стока, пропускающего сель, осыпь или лавину, к объему отложенного материала.

Хотя развитие физико-географических процессов идет постоянно, с инженерной точки зрения важно выделить равномерно действующие и периодические процессы. К относительно равномерным процессам можно отнести речную и овражную эрозию, абразию, карстовые, суффозионные, мерзлотные процессы. К периодически действующим относятся селевые и лавинные процессы, образование осыпей, обвалов, оползней, снежные заносы. Медленное и постоянное изменение внутренних динамических сил горных пород, снега выражается в их скачкообразном быстром смещении. В зависимости от вида процесса скачок в развитии явления приурочивается к определенному, чаще переходному времени года, когда особенно энергично идет накопление суммы условий, нарушающих равновесие пород. При прочих равных условиях эти процессы ускоряются весной и осенью.

Процессы образования лавин, селей, осыпей, обвалов, оползней, а также процессы абразии благодаря быстро-му перемещению значительных масс горных пород и воды обладают большой ударной силой. В зависимости от силы удара инженерные сооружения разрушаются неодинаково, поэтому для расчета защитных мер против лавин, селей, осыпей необходимы данные о силе удара в препятствие. Ударная сила лавин, селей, обвалов рассчитывается в зависимости от угла склона и его высоты, объема и веса падающей на сооружение массы (объемный вес для селевых потоков, вес обломков для обвалов).

Расчеты ударной силы лавин показывают, что свободнолежащий обломок в виде куба с ребрами в 30 см под воздействием лавины с плотностью $0,3-0,5 \text{ г/см}^3$ и скоростью $10-20 \text{ м/сек}$ получает большее ускорение, чем свободнопадающее тело (С. М. Мягков, 1967). Например, при объеме лавины в $25\,000 \text{ м}^3$ была зафиксирована сила удара в 118 т/м^2 (А. Г. Гофф и Г. Ф. Оттен, 1941).

Ударная сила зависит также от рельефа пути движения лавин, оползней, селей, и при ее расчете необходимо учитывать те геоморфологические особенности, которые ослабляют или увеличивают силу удара. Ударную силу снега усиливают узкие плечи трогов и нагорные террасы — своеобразные трамплины для прыжка лавины в долину. Так как в этом случае скорость лавины в среднем будет равна скорости свободнопадающего тела, то она производит огромные разрушения. Примерно такое же значение имеют крутые перегибы склонов для обвалов одиночных камней. Известна также тесная зависимость разрушительной силы селевого потока от формы его бассейна. При прочих равных условиях наибольшей силой удара обладают селевые потоки с резко обособленной областью питания и каналом стока, с воронкообразной областью питания, узким выходом из воронки, узким каналом стока, крутым падением долины. Ударную силу рассчитывают с учетом характера препятствия. Наибольшую силу удара испытывают неоттекаемые препятствия, расположенные перпендикулярно к направлению движения основного потока массы.

Таким образом, периодически действующие процессы необходимо характеризовать с точки зрения внезапности

возникновений, частоты проявления во времени, повторяемости на площади, продолжительности действия и силы удара. При этом нужны данные о скорости движения массы, которая в значительной степени зависит от рельефа подстилающей поверхности.

Практически важно определить границы возможного распространения того или иного процесса. При этом следует учитывать границы площади развития данного процесса и возможные пределы активного роста отдельных форм. Границы распространения процесса чаще всего определяются составом горных пород и условиями их залегания, рельефом подстилающей поверхности и положением уровня грунтовых вод. Границы возможного развития просадочных явлений обуславливаются площадью развития лёссовидных пород; границы оползневых районов — рельефом, составом и условиями залегания пород, а границы районов мерзлотных процессов — развитием мерзлых грунтов. В районах распространения этих процессов о размещении участков с их активным проявлением можно судить по массовому развитию соответствующих форм рельефа. Для периодических процессов, связанных с перемещением огромных масс рыхлого материала, границы их действия устанавливают по границам выноса разрушительных масс снега, грязи, камней. Существующие формулы дальности выброса лавин, дальности отлета камней и радиуса действия селей, применяемые для составления прогнозов опасности процессов и проектирования защитных мероприятий, учитывают рельеф поверхности — размеры снегосборных, селеборных и осыпесборных бассейнов, уклонов, профилей каналов стока. От размера сборных бассейнов зависит объем выносимой массы и, следовательно, быстрота их движения и длина проходимого пути. Профиль канала стока, его крутизна, микрорельеф определяют условия пропуска снега, грязи, камней и также влияют на дальность их выхода на предгорные равнины.

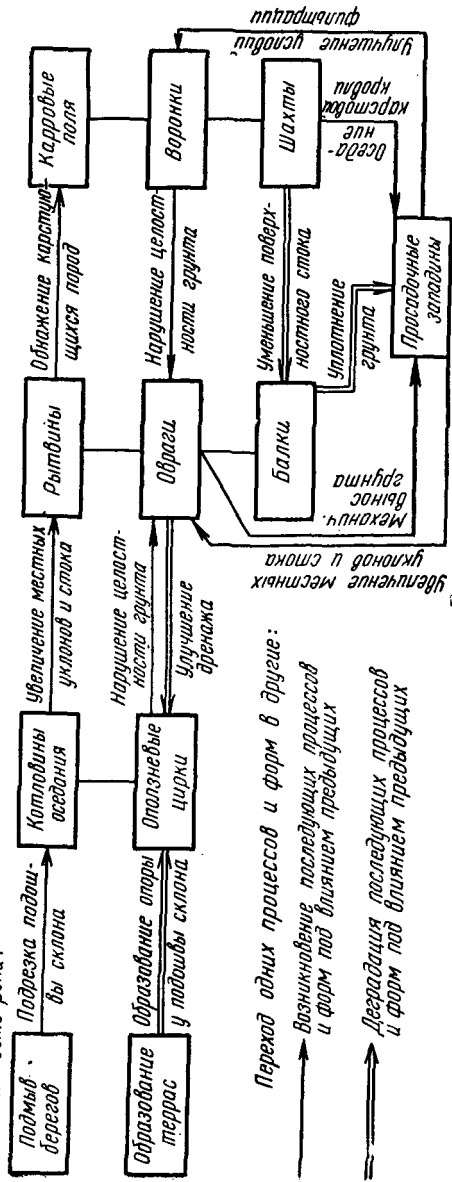
Заслуживает внимания методика изучения дальности выброса грунтовых лавин по аккумулятивным лавинным формам рельефа, которая была предложена Проблемной лабораторией снежных лавин географического факультета МГУ для района Хибин. Дальность выброса определялась по форме продольного профиля лавинного конуса, по различиям минералогического и геохимиче-

ского состава отложений областей питания лавин, подстилающих пород и конусов выноса. Установлено, что медленные, климатически обусловленные колебания дальности выброса лавин в прошлом и настоящем не превышают 150 м при длинах путей лавин в 1000—1200 м.

Развитие какого-либо процесса, как известно, не идет обособленно, а всегда протекает во взаимодействии с другими процессами, а также с хозяйственной деятельностью человека. Только учет всего комплекса факторов, последовательности проявления, возможности совместного действия процессов позволяет наиболее правильно подойти к прогнозу их развития и организации защитных мер. При этом очень ответственна роль геоморфолога, так как именно он устанавливает такие закономерности в развитии рельефа, которые помогают заранее предусмотреть смену одних видов физико-географических процессов другими и результаты совместного действия нескольких процессов. Если учесть также возможность вмешательства человека, ослабляющего или усиливающего развитие различных природных явлений, то решение этого вопроса представляется очень сложным. Недооценка такого рода зависимостей и возможностей совместного действия процессов неоднократно приводила к техническим ошибкам при организации защитных мероприятий против их разрушительного действия. Например, недооценка образования оврагов в зависимости от перемещения русла реки привела к крупным техническим ошибкам в организации оврагоукрепительных и водоохраных работ в Придесенье. По данным К. Л. Холупяка (1953), эти ошибки повторялись здесь в течение сорока лет — с 1897 по 1937 г.

Попытку установить последовательность и совместное действие некоторых физико-географических процессов представляет схема возможных генетических связей форм рельефа (Т. В. Звонкова, 1959). На схеме показаны наиболее часто встречающиеся связи геоморфологических явлений, которые могут способствовать активизации или деградации процессов и форм рельефа (рис. 14). Особое внимание обращено на те связи, которые, активизируя процесс, угрожают нормальной работе сооружения, а также на те, которые замедляют развитие этого процесса. Например, овраги особенно интенсивно будут развиваться при сочетании с оползновыми явлени-

Эрозионно-аккумулятивная
деятельность реки:



Переход одних процессов и форм в другие:

↑ Возникновение последующих процессов и форм под влиянием предыдущих

↑ Деградация последующих процессов и форм под влиянием предыдущих

Рис. 14. Генетическая связь физико-географических процессов и форм рельефа (по Т. В. Звонковой, 1959)

ями, подмывом берегов, явлениями поверхностного карста, просадками. В свою очередь возникновение активно растущих оврагов в оползневых районах благодаря улучшению условий дренажа может способствовать затуханию оползней. Правда, оползни появляются иногда и на склонах оврагов, но чаще это мелкие оползни, не опасные в практическом отношении. Сползающие массы грунта быстро упираются в дно оврага, и дальнейшее соскальзывание прекращается.

Затуханию овражной деятельности обычно способствует образование карстовых воронок. Наоборот, в районе распространения поверхностного карста овраги могут содействовать его дальнейшему развитию (характерна приуроченность поверхностных форм глинистого карста к молодым оврагам района Мингечаурского гидротехнического узла). Нередко появление карста на дневной поверхности связано с развитием суффозионных процессов в толщах рыхлых отложений. Например, карстовые провалы в районе г. Альметьевска вытянуты цепочкой вдоль левого борта погребенной доплиоценовой долины р. Зая. Присутствие здесь карстовых форм объясняется суффозионными процессами в толщах четвертичных, казанских и уфимских пород, покрывающих закарстованные сакмарские и артинские отложения.

О прекращении просадочных процессов свидетельствует появление балок и эрозионных ложбин, где под влиянием естественного замачивания пористые породы теряют просадочные свойства и приобретают устойчивость.

Необходимо также проследить связь природных процессов с новейшими тектоническими движениями, которые, как правило, активизируют их. На сводах активных антиклинальных структур увеличиваются скорости эрозионных процессов и роста овражной сети, в карстующихся породах в связи с понижением уровня грунтовых вод образуются этажи карстовых полостей. В области тектонических опусканий усиливаются процессы аккумуляции, абразии и оползания и т. п.

Наконец, следует учитывать и те изменения в направлении природных процессов, которые вносит сам объект изысканий — водохранилище, дорога, здание и т. п. Известно, например, что заполнение чаши водохранилища вызывает увлажнение неводоносных сухих пород, возра-

стание напора и усиление фильтрации через водоносные породы. Все это приводит к активизации оползневых, карстовых, суффозионных явлений.

Таким образом, при определении степени опасности того или иного вида процесса приходится учитывать целый комплекс других процессов и факторов, воздействующих на него или вызываемых им.

Зональность процессов. В своем распространении физико-географические процессы подчинены зональным и региональным закономерностям. Климат определяет зональные особенности распространения природных процессов и явлений. К зональным процессам относятся, например, криогенные процессы — наледные, термокарстовые, просадки, пучения и т. п. Климатические условия определяют также возможность совместного развития в пределах одной и той же географической зоны генетически сходных процессов, вызываемых одними и теми же причинами (например, выдувание летом и снежные заносы зимой в степной и лесостепной зонах).

В горах физико-географические процессы подвержены вертикальной зональности, определяемой преимущественно условиями рельефа. В верхних частях гор преобладают процессы выветривания и накопления рыхлого материала в верховьях снегосборных, водосборных и камнесборных бассейнов. В средних частях господствуют процессы переноса рыхлого материала, эрозии, сход лавин по лоткам и руслам. Для нижней зоны гор свойственны процессы аккумуляции и образования конусов выноса.

Однако общие закономерности распределения процессов по вертикальным зонам часто нарушаются влиянием экспозиции склонов, которое особенно сильно в районах с резко континентальным климатом.

Геологическое и геоморфологическое строение обуславливает региональные закономерности распределения физико-географических процессов. К региональным процессам относятся, например, оползневые и карстовые процессы, характерные для всех географических зон. Но региональные процессы и формы рельефа в разных географических зонах меняют свои некоторые свойства. Оползни в зоне вечной мерзлоты приобретают характер поверхностных сплывов, в горах — вид обвалов, в суб-

тропиках — характер оплывин (например, насыщенные влагой синие чокракские глины района Сухуми).

По-разному развиваются овраги в лесной и степной зонах. В лесной зоне благодаря достаточному увлажнению и развитию оплывных движений уже на первых стадиях может сформироваться овраг, имеющий форму балки. В степной зоне чаще возникают крутосклонные овраги. Сухой климат и лёссовидный грунт не способствуют оплыванию и быстрому зарастанию склонов, поэтому для подобных условий балочные формы рельефа не характерны.

Широко известны зональные проявления карста: голого карста в субтропиках, закрытого в лесной зоне, термокарста в тундре и лесотундре, глинистого карста в пустыне и полупустыне. В пределах же географических зон разнообразие карстовых явлений, как известно, объясняется различиями в составе пород (карст известняковый, гипсовый, соляной).

Подчиненность природных процессов и явлений географической зональности и изменение в связи с этим технических условий проектирования и строительства инженерных сооружений в разных природных условиях — одна из важных проблем инженерного проектирования.

Меры защиты от неблагоприятного действия физико-географических процессов. Эти меры могут иметь географический и инженерный характер. Мероприятия географического характера заключаются в активном использовании какого-либо одного природного фактора для предупреждения или ослабления другого. Например, посев трав и посадка кустарников для прекращения эрозии и эоловых процессов. Эти мероприятия проводятся обычно на значительной площади и сопровождаются изучением комплекса местных природных факторов: густоты растительного покрова, структуры почвы, деятельности поверхностных и грунтовых вод, микроклиматических условий. Однако в защите инженерных сооружений эти меры в большинстве случаев имеют только профилактическое значение.

Наиболее эффективны инженерные способы борьбы. Для защиты от оползней применяют вертикальную планировку склонов, подпорные стенки, прошивку тела оползня сваями, устройство каналов, лотков, подземных

галерей; против размывающей деятельности рек и моря — волноломы, струенаправляющие дамбы; против лавин — направляющие дамбы и лавинорезы и т. д. Эти сооружения концентрируются обычно на небольшом участке, где непосредственно развит сам процесс, и рассчитаны на изменение частных природных факторов: уклонов, положения русла, направления струй, скорости ветра и т. д.

В целом все защитные мероприятия направлены или на замедление скоростей процессов, или на перемещение и активизацию их в другом месте (замачивание и искусственное уплотнение просадочных пород, снегозадержание, искусственное промораживание грунта).

Выбор мер защиты определяется главным образом типом сооружения, природными условиями района и конкретного участка. В этом случае особенно важны возможность совместного действия физико-географических процессов, переход одного вида процесса в другой, стадийность развития и зональная приуроченность. При совместном действии процессов прибегают к комплексу мер, предусматривающих, например, в борьбе с оползнями одновременную защиту против подмыва берега, размыва атмосферными водами и суффозионных процессов, при защите от селевых потоков — одновременную защиту от снежных лавин, обвалов, оползней, осыпей и эрозии почвы. Возможность перехода одного вида процесса в другой позволяет заранее принимать предупредительные меры и не допускать на данном участке возникновения новых и усиления действующих процессов.

Такая комплексность защитных мероприятий, основанная на учете глубоких природных связей, имеет большое значение в борьбе с разрушительным действием физико-географических процессов.

Примером рационального подхода к проектированию защитных мероприятий служит комплекс инженерных сооружений, защищающих г. Алма-Ата от селевых потоков. Здесь предусмотрены меры защиты не только от непосредственного действия селевых потоков (свободный пропуск и отклонение селевого потока, удержание крупных фракций), но и от других процессов, усиливающих селевую опасность. К ним относятся защита от глубинной и боковой эрозии в долинах рек, борьба с нерегулируемым поверхностным стоком на склонах гор, защита

Зональность склоновых процессов, форм рельефа и инженерных мер защиты

Зоны и процессы	Формы проявления процессов					Меры защиты
	осыпь	оползень	сезль	овраг	лавина	
I зона выветривания	Камнебор- ная воронка	Котловина оседания	Водосбор- ная воронка	Водосбор- ный бассейн	Снегосбор- ный бассейн	Простейшие сооружения, ос- лабляющие жидкий и твердый сток, их расходы
II зона дену- дации	Канал (ку- луар) осыпи	Оползневой цирк	Канал стока	Русло оврага	Лавинный лоток	Крупные регулирующие гид- ротехнические сооружения для уменьшения скоростей перено- са рыхлых масс и изменения направления их движения
III зона аккумуля- ции	Конус осыпи	Бугры наползания	Конус выноса	Конус выноса	Лавинный конус	Сооружения, ослабляющие силу удара в защищаемый объ- ект и улавливающие наносы

Классификация физико-географических процессов по степеням их динамичности, действию на различные сооружения и характеру защитных мероприятий (Т. В. Звонкова, 1959)

Физико-географические процессы	Качественные и количественные показатели динамичности процессов	Характер производимых разрушений (относительная опасность процесса для различных видов сооружений или их частей)	Характер защитных мероприятий
Горы Селевые, лавинные, обвальные	Процессы внезапного периодического и непродолжительного действия, сопровождающиеся выносом очень больших объемов грунта (до нескольких десятков м ³ /сек с 1 м ²) и ударом огромной силы	Катастрофические разрушения поселков, сносы отдельных зданий, мостовых ферм, дорог. Возможны человеческие жертвы	Инженерные и комплексные агролесомелиоративные мероприятия, направленные на гашение скоростей и ударной силы процессов. Характерно поясно-геоморфологическое расположение защитных мероприятий по длине склона
Равнины Мерзлотное пучение, карстово-провальное, оползневые	Процессы периодического, непрерывного действия, вызывающие быстрый и неожиданный сдвиг, выпирание или провалы грунта вследствие уменьшения или увеличения объема и веса горных пород	Значительные разрушения отдельных зданий, свайных оснований мостовых ферм; деформация железнодорожного и шоссевого полотна	Инженерные защитные мероприятия направлены на удержание в равновесии горных пород
Эрозионно-аккумулятивные	Относительно медленно действующие процессы размыва и переувлажнения. Динамичность про-	Постепенный размыв дорог, подмыв мостовых опор	Комплексные мероприятия, направленные в основном на уменьше-

Виды физико-географических процессов	Качественные и количественные показатели динамичности процессов	Характер производимых разрушений (относительная опасность процесса для различных видов сооружений или их частей)	Характер защитных мероприятий
Суффозионные, мерзлотно-соли-флюкционные Песчаные и снежные заносы, лавинные процессы	<p>Процессы и защитные меры в значительной степени зависят от стадии их развития. Средний вынос из оврага составляет несколько килограммов с 1 м² в год. Подмыв рекою и наращивание аккумулятивного берега — от 5 см до 1,5 м в год</p> <p>Процессы, вызывающие медленные и слабые подвижки небольших количеств грунта в пределах небольших амплитуд (просадки и течение грунта)</p> <p>Пассивные процессы по отношению к сооружениям. Характерно периодическое сезонное действие (навание песка, снега, наывание льда). Скорость движения песка — несколько метров в год</p>	<p>Осадка и деформация зданий — трещины в стенах, разрывы трубопроводов, трещины оседания в бортах каналов</p> <p>Процессы не вызывают разрушений и деформаций сооружений, но могут мешать нормальной эксплуатации железных и шоссейных дорог, жилых и промышленных сооружений и промышленных сооружений скоплениями снега, льда и песка</p>	<p>ние количества поступающей воды и скоростей потока; изменение направления струй в лотке</p> <p>Основные защитные мероприятия направлены на сохранение или усиление процессов (сохранение мерзлоты, уплотнение грунта искусственным замачиванием)</p> <p>Агролесомелиоративные и инженерные мероприятия основаны на искусственной концентрации (перемещении) процесса в сторону от сооружения (снего- и пескозадерживающие решетки и насаждения, мерзлотные по-</p>

от снежных лавин, обвалов и оплывин. Комплексные меры значительно сократили число селей, доходящих до города, но не прекратили полностью эти процессы. Это объясняется недостаточным вниманием к изучению взаимных связей природных явлений и процессов, свидетельством чему может служить сель, спустившийся в 1964 г. в котловину оз. Иссык.

Для геоморфологических явлений, развивающихся на склонах гор, положение защитных сооружений определяется вертикальной зональностью (табл. 4).

В первой геоморфологической зоне для борьбы с оврагами и оползнями сооружают каналы и валики, для борьбы с лавинами — рвы и террасы на склонах. Во второй зоне в оврагах и селевых долинах размещают запруды, селенаправляющие дамбы, на склонах — лавинорезы, оползни прошивают сваями. В третьей зоне сооружают селеулавливающие лотки и канавы, отбойные противолавинные дамбы, противооползневые стенки.

Разрушительная сила процессов зависит от скорости, с которой движутся рыхлые массы со склонов, а скорость определяется размерами уклонов и формой склона. Поэтому большинство защитных мероприятий имеет главную цель изменить рельеф, его частные уклоны, высоту, длину и форму склона.

Классификация форм рельефа и природных процессов. Известны общие и частные классификации природных процессов — Ф. П. Саваренского, В. А. Приклонского, И. В. Попова, Н. И. Николаева, Н. В. Коломенского, Г. С. Золотарева, В. Ф. Котлова и др. Многие из этих классификаций основаны на факторах, которые имеют наибольшее значение для возникновения этих процессов (сила тяжести, работа текучей воды, работа ветра и т. д.). В основу предлагаемой классификации физико-географических процессов положены динамичность процесса, его действие на различные виды сооружений и характер защитных мероприятий (табл. 5).

Количественно процесс характеризуется объемом (весом) плотной массы, выносимой с определенной площади в единицу времени, и его линейной скоростью. Численные характеристики, конечно, ориентировочны, так как основаны на сравнительно небольшом количестве данных. Однако и они дают возможность судить о степени и характере воздействия определенной группы процессов

на различные виды сооружений или их части и определять общий характер защитных мероприятий. Количественные характеристики существенно дополняет качественная оценка динамичности процесса (постоянство или периодичность действия, его продолжительность, стадия развития и т. п.).

Классификацию физико-географических процессов по характеру их действия на различные сооружения и принципу защитных мероприятий можно использовать лишь при тщательном учете всего комплекса природных факторов. Известно, что изменение даже одного из компонентов природной среды может существенно изменить конкретную обстановку развития процесса, ослабить или усилить его воздействие на сооружение. Благодаря этому более динамичные процессы в местных конкретных условиях могут оказаться менее опасными для сооружений, чем медленно действующие процессы.

Классификации частных процессов должны быть локальными и разрабатываться для практического использования их лишь в пределах данного физико-географического района.

Прогноз природных процессов. Прогнозирование физико-географических процессов инженерного значения еще не разработано, и в настоящее время можно изложить лишь некоторые общие вопросы его методологии.

Методология прогнозирования физико-географических процессов основывается на развитии их под воздействием внешних и внутренних сил Земли, при преобладании внешних сил и все увеличивающемся влиянии человека. Объектом прогноза могут быть как существующие процессы, но не известные в своем будущем развитии, так и еще не существующие, но могущие возникнуть под влиянием различных причин. Во всех случаях прогнозирования природных процессов опирается на анализ основных компонентов прогнозных расчетов: пространства и времени, природных и хозяйственных факторов, которые будут главными на заданный срок. Отбор факторов прогнозного развития процесса — самый ответственный этап исследования. Возможные факторы развития процессов — климатические, геологические, гидрологические и другие — оцениваются с двух главных точек зрения: степени их значимости для прогнозного развития, характера процессов и числа воздействующих фак-

торов. Такая оценка прежде всего имеет в виду определение тесноты связей между факторами и объектами прогноза, что помогает установить степень сложности процессов, методы их прогнозирования, подготовить прогнозные задачи и построить модели, которые обычно нуждаются в четкой и ограниченной системе факторов.

Одна из возможных систем прогнозирования физико-географических процессов может быть построена на функциональных зависимостях их развития от одной из групп природных факторов — гидрометеорологических или литогенных. Прогнозирование процессов, зависящих в своем развитии от хода и ритмов развития метеорологических факторов, опирается на закономерно действующие природно-временные или периодические связи — сезонные, суточные, многолетние (паводковая эрозия, сезонное подтопление, затопление и заболачивание, снежная эрозия, сезонное пучение грунтов и т. п.). Прямая зависимость этих процессов от метеорологических ритмов обуславливает относительную малофакторность их анализа и надежность прогнозирования. Но так как метеорологические факторы не прогнозируются на долгий срок, то и прогноз развития процессов, находящихся в сфере их прямого влияния, может даваться лишь на сезон, месяц, год, несколько лет. Такая система используется главным образом для прогнозирования процессов сельскохозяйственного значения. При этом большинство прогнозных расчетов проводится статистическими методами, которые позволяют проверить, насколько тесно связаны процессы и факторы их развития, произвести деление процессов по каким-либо признакам на типические группы и т. п. Но сравнительно небольшие сроки стационарных гидрометеорологических наблюдений, их неоднородность и возможность отклонений за счет местных природных особенностей обуславливают использование для прогнозирования этой группы процессов и региональных географических методов.

Сложнее прогнозировать природные процессы, находящиеся вне сферы прямого действия метеорологических агентов и зависящие от многих факторов, особенно геологических и геоморфологических, не поддающихся точному учету и расчетам (процессы карстово-суффозионные, оползневые, овражные, селевые, лавинные и др.).

Основа прогнозирования процессов этой группы — их закономерная приуроченность к литогенно обусловленным площадям, например, территориям карстующихся и просадочных пород, склонам определенной крутизны и т. п.

Теоретически ход развития и состояния этих процессов можно предусмотреть на любой срок. Но множественность переменных факторов делают этот долгосрочный прогноз многофакторным, многовариантным и часто неосуществимым. Эта многофакторность и сложность прогнозирования снижает роль математических и усиливает значение географических методов прогнозных исследований — сравнений, аналогий, обобщений и т. п. Длительные сроки прогноза повышают также роль палеогеографического анализа территории. Такой системой прогноза нередко приходится пользоваться в инженерно-строительных изысканиях.

При прогнозировании физико-географических процессов необходимо учитывать, что их естественное развитие может нарушаться мощным переменным действующим антропогенным фактором. В таких случаях приходится сопоставлять развитие этих процессов с расчетными сроками эксплуатации инженерных сооружений, демографическими тенденциями, устанавливать соотношения природных и технических параметров — объемов, площадей, глубин, высот. Например, высота насыпи дороги на пойменной террасе определяется разностью прогнозных высот паводков реки и высот самой террасы. Эта разность с учетом гарантийной высоты насыпи в долинах сибирских рек нередко достигает больших величин, существенно увеличивая объемы земляных работ и удорожая покилометровую стоимость пути.

Прогнозирование физико-географических процессов предполагает последовательное выполнение ряда исследований, начиная с определения задач, объекта и территории прогноза, отбора факторов прогнозного развития и кончая подготовкой прогнозных задач и проверкой достоверности прогноза.

В ближайшем будущем следует разработать систему прогнозных методов и классификацию процессов инженерного значения по их прогностическим и функциональным признакам. Осуществление этих задач повысит

эффективность борьбы с теми природными процессами, которые наносят ущерб народному хозяйству.

Изучение физико-географических процессов необходимо для решения другой очень важной проблемы — устойчивости территории.

УСТОЙЧИВОСТЬ РЕЛЬЕФА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПО ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ ИНЖЕНЕРНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТА

Проблема устойчивости территории — это инженерно-геологическая проблема, так как под устойчивостью обычно подразумевают устойчивость горных пород, их способность удерживать сооружения. Однако известно, что в одной и той же геологической обстановке, но в различных физико-географических и геоморфологических условиях физико-технические свойства и несущая способность одних и тех же горных пород различны. Вместе с тем горные породы разного состава очень часто неустойчивы в определенных геоморфологических условиях, например на склонах. Таким образом, можно говорить не только об устойчивости горных пород, но и об устойчивости рельефа и в некоторой части решать проблему устойчивости территории и геоморфологическими методами.

Можно изучать устойчивость рельефа различных генетических и морфологических типов, однако наиболее актуальны исследования устойчивости склонов, на которые опираются многие инженерные сооружения — плотины, мосты, дороги, здания. Устойчивость склона и степень его деформации зависят от процессов, действующих как на поверхности склона, так и в массиве пород, слагающих склон.

В своем развитии склоны проходят три стадии: начальную стадию разработки склона, интенсивного формирования и затухания склонообразования. Выделяют следующие типы склонов и соответствующих им склоновых процессов (С. С. Воскресенский, Г. С. Золотарев и др.).

Обвальные склоны, формирующиеся процессами обвалов, осыпей, глыбово-каменных лавин, осовов. Эти склоны отличаются крутизной ($25-40^\circ$), резким и быст-

рым движением по ним глыбового и щебнистого материала. Среди многих факторов, определяющих форму движения рыхлого материала по склонам, — трещиноватости и раздробленности пород, состояния сейсмичности, водонасыщенности — важнейшими являются угол склона, его крутизна, высота и форма. Для подсчета скорости осыпания со скалистых склонов надо знать вес C_p материала, задержанный дамбой за данный период времени Δt , объемный вес породы γ и площадь F , с поверхности которой осыпался материал *. Тогда скорость осыпания v будет равна

$$v = \frac{C_p}{\gamma F \Delta t}.$$

К геоморфологическим факторам, усиливающим воздействие обвальных склоновых процессов на инженерные сооружения, относятся неровности рельефа склона, особенно структурные ступени, которые служат своеобразным трамплином для глыбово-каменных лавин и одиночных камней. Но эти же структурные формы на осыпных склонах замедляют движение рыхлого материала.

Оползневые склоны создаются действием оползневых процессов и процессов отседания. Различают следующие виды оползневых движений грунта, формирующих склон (Г. С. Золотарев, 1956): оползни-блоки, оползни-потоки, сплывы, оплывины, срывы. По возрасту и фазам развития оползни как форму оползневого движения делят на древние — открытые и погребенные, современные — старые, приостановившиеся и действующие — новые и возобновившиеся. Дальнейшее деление оползней идет по их генетическим типам, составу оползневого материала, мощности, размерам и форме, активности, глубине захвата грунта, характеру движений, причинам смещений и т. д. Процессы скольжения рыхлых масс по склону характерны как для крутых, так и для пологих склонов, но на крутых склонах (18—25°), как правило, возникают крупные оползни-блоки, а на пологих (6—18°) оползни-потоки.

Оползневые склоны особенно опасны для строительства арочных мостов, плотин и других сооружений, ока-

* Дамба устраивается в верховьях желоба осыпи (М. И. Ивернова, 1953; Е. Н. Лисичек, 1956).

Морфологические признаки относительной устойчивости оползневого склона

Степень активности оползня	Морфологические признаки	Степень устойчивости склона
Свежие активные оползни	Рвы отседания на коренном берегу, бровки срыва, ступенчато-глыбовая поверхность оползня с сохранившимися участками поверхности коренного берега, валы выпирания и наплывы, откосы обрушения и размыва, осыпи, обвалы и другие деформации	Неустойчивые склоны
Давние оползни	Сглаженные оползневые террасы и бугры, крупные западины, овраги и промоины	Относительно устойчивые склоны (в естественном состоянии)

зывающих боковое давление на склоны долин. Возможность строительства инженерных сооружений в ряде случаев определяется глубиной захвата грунта оползневыми процессами. В случае неглубоких оползней типа сплывов, оплывин, срывов сооружения с глубоким фундаментом не деформируются (табл. 6).

Солифлюкционные склоны формируются в процессе медленного течения грунта, сползания дерновых блоков и грунта. Этот тип процессов характерен для полярных, высокогорных и гумидных областей и активно проявляется на пологих глинистых сильно переувлажненных склонах ($3-8^\circ$). Процессы сползания захватывают поверхностную толщу грунта и оказывают прямое влияние лишь на сооружения с неглубокими фундаментами.

Делювиальные склоны образуются в результате медленного движения осыпей, курумов, глинисто-щебнистого материала. Такие процессы характерны для сравнительно пологих ($9-18^\circ$) и несколько увлажненных склонов. Эрозионные склоны развиваются в процессе струйчатого размыва и плоскостного смыва с пологонаклонных поверхностей ($2-3^\circ$). Это процессы медленного

действия, но благодаря большой площади их развития масса смытого материала велика.

Современное состояние склона и главным образом характер и интенсивность формирующих его процессов позволяют судить о степени его устойчивости. Устойчивость склона может быть выражена коэффициентом устойчивости

$$n = \frac{\Sigma R}{\Sigma Q},$$

где n — коэффициент устойчивости;

ΣR — сумма сил, сопротивляющаяся перемещению земляных масс;

ΣQ — сумма активных сдвигающих сил.

Если $\Sigma R > \Sigma Q$, то $n > 1$, т. е. склон и слагающие его горные породы находятся в устойчивом состоянии. При равенстве сумм сил, сопротивляющихся сдвигу, и активных сдвигающих сил ($\Sigma R = \Sigma Q$) коэффициент устойчивости $n = 1$, т. е. склон находится в состоянии устойчивого равновесия.

Если $\Sigma R < \Sigma Q$, то $n < 1$, и склон находится в неустойчивом состоянии.

Устойчивые склоны имеют равновесный профиль, слабые и количественно равноценные смыв в верхней части и аккумуляцию в нижней части склона. Оползни, обвалы, овраги на таких склонах отсутствуют. Устойчивости склона способствует относительная стабильность базиса эрозии, в том числе местного базиса — подошвы склона.

Условно устойчивые, или равновесные, склоны (коэффициент устойчивости 1,00—1,05) близки по профилю склона к устойчивым, но здесь возможны оползневые и другие деформации, особенно при дополнительной нагрузке на склоны. К таким склонам относятся делювиальные склоны, задернованные осыпи, старые оползни. При соблюдении всех правил (лесопосадки, водоотводы, террасирование, закрепление оврагов) на таких склонах возможно строительство.

Если на склонах активно действуют оползни, растут овраги и конусы выноса, подмывается подошва склона, то такие неустойчивые склоны без сложных и дорогостоящих мероприятий по их укреплению непригодны для строительства.

Состояние устойчивости склона может нарушаться как природными процессами, так и деятельностью человека. Склон становится неустойчивым при размыве террас в его основании или подмыве подошвы, что нередко бывает при заполнении чаши водохранилища. Условно устойчивые склоны часто деформируются от дополнительных нагрузок при возведении на них сооружений. Неустойчивые склоны приобретают временную устойчивость, если у их основания появляется упор в виде террасы или делювиального плаща. Таким образом, при изучении устойчивости склонов необходимо обращать внимание на те факторы и связи между ними, которые усиливают или замедляют склоновые процессы.

Для повышения устойчивости склонов часто прибегают к искусственному изменению его рельефа — частных уклонов, высот, длин и формы. Этого бывает достаточно для стабилизации устойчивого состояния склона.

Исследовав устойчивость отдельных форм и элементов рельефа, можно перейти к районированию по степени устойчивости целых территорий. В основу такого районирования можно брать элементы и формы рельефа одинаковой степени устойчивости как одного, так и нескольких генетических рядов. Для карстовых областей объектом районирования обычно служат карстовые воронки, для оползневых — оползни, для районов развития различных физико-географических процессов — комплекс соответствующих им форм и элементов, определяющих устойчивость территории.

Г. А. Максимович (1961) классифицирует устойчивость закарстованных территорий в районах гражданского и промышленного строительства по динамичности годового прироста и плотности провальных карстовых воронок (табл. 7). Эту классификацию можно использовать для районов с провальными карстовыми воронками при учете их генезиса и исторического развития.

Вторым совещанием руководителей геологических органов — членов СЭВ в качестве типовой была принята следующая классификация оползневых районов.

1. Районы с единичными оползнями.

2. Районы линейного распространения оползней (по берегам морей, крупных рек, озер, водохранилищ, вдоль дорог и др.): а) оползни чередуются с устойчивыми участками склона; б) почти сплошной оползневой склон.

3. Районы площадного развития оползней (по разветвленной эрозионной сети): а) оползни редки; б) оползни встречаются часто.

Таблица 7

**Классификация устойчивости закарстованных территорий
(по Г. А. Максимовичу, 1961)**

Класс устойчивости	Количество карстовых воронок, возникающих в год на площади 1 км ²	Количество лет, в течение которых возникает одна воронка на 1 км ²
Устойчивые	< 0,01	> 100
Слабоустойчивые	0,01—0,1	100—10
Неустойчивые	0,1—1	10—1
Весьма неустойчивые	1—10	1—0,1
Катастрофические	> 10	< 0,1

Опасность деформации любой территории особенно велика при сочетании неустойчивого рельефа с неустойчивыми грунтами (например, мерзлотные грунты на крутых склонах). В связи с этим одна из задач геоморфолога состоит в изучении и выявлении по геоморфологическим признакам физико-технических свойств грунтов, особенно неустойчивых.

Возможность выявления по геоморфологическим признакам физико-технических свойств грунта основана на генетических связях между рельефом и составом слагающих его пород. В качестве индикатора инженерных свойств грунта могут быть использованы те формы и элементы рельефа, которые образуются одновременно с формированием приповерхностных рыхлых толщ или после них, отражая их состав и структуру. В первом случае формы рельефа могут служить индикатором для определения некоторых инженерных свойств рыхлых пород — песчаных и песчано-галечниковых, песчано-галечниковых с пропластками пластичных пород. Такое инженерно-геоморфологическое значение имеет, например, деление террас по их генетическим признакам. Площади развития аккумулятивных террас определяют территории распространения пород с неоднородным литологическим составом и физико-техническими свойствами, их частой фациальной изменчивостью (Н. В. Коломенский, 1959). В случае строительства сооружений на таких по-

родах часто возникают неравномерные осадки сооружений и их деформации. При строительстве напорных плотин песчаные, гравийно-галечниковые и валунные отложения аккумулятивных террас могут служить путями для фильтрации воды из водохранилища и возможной причиной размыва более мелких по механическому составу подстилающих или перекрывающих их пород. Пропластки пластичных глинистых пород, особенно в верхних частях надпойменных террас, благодаря их периодическому просушиванию увеличивают устойчивость рыхлой аллювиальной толщи. Но в аридной зоне пластичные породы террас часто содержат воднорастворимые соли, выщелачивание которых может снизить устойчивость территории строительства.

Границы развития стариц оконтуривают на пойменных террасах участки распространения илисто-глинистых образований, обогащенных органическими остатками. Устойчивость таких водонасыщенных мягкопластичных пород очень невелика, и под тяжестью сооружений они дают большую и неравномерную осадку.

По формам эолового рельефа можно судить о механическом составе песка и содержании в нем примесей. Неподвижные заросшие пески — грядовые, ячеисто-грядовые, бугристые — отличаются полимиктовым составом и содержат примеси пылеватых лёссовых и суглинистых частиц. Подвижные барханные формы чаще состоят из однородных песков с большим процентом кварцевых зерен, что нередко ограничивает возможность их использования для строительных целей (однородные пески не укатываются).

Структурные и скульптурные формы и элементы рельефа (гряды, структурные уступы, столовые плато и т. п.), образующиеся в процессе денудации слагающих их горных пород, могут служить индикатором на инженерные свойства скальных и полускальных горных пород.

Различные солифлюкционные, патечные формы рельефа, а также «мягкий рисунок» их эрозионного расчленения помогают оконтурить площади развития пластичных пород. Полигональные формы микрорельефа в пустыне на глинистых грунтах свидетельствуют о прогрессирующем недостатке влаги в грунтах, а развитие выпуклых и овальных микроформ — об их засолении.

Один из лучших признаков просадочности пород — блюдца и другие суффозионные формы рельефа. При этом развитие просадочных форм рельефа — западин, блюдца — обычно свидетельствует о значительной мощности толщи лёсса и лёссовидных пород (более 8—10 м) и их просадочности от собственного веса. Толщи лёсса такой мощности и просадочности обычно свойственны водоразделам с глубоким залеганием грунтовых вод. Это сухие лёссы с 7—9% влажности. В районах распространения мощных лёссов и лёссовидных грунтов устойчивость территории и сооружений достигается предохранением просадочных грунтов от замачивания или применением конструкций зданий и сооружений, малочувствительных к неравномерным осадкам.

Если для площадей распространения лёсса и лёссовидных пород характерны канавообразные впадины, рывины и другие формы поверхностного размыва с обрывистыми бортами, то это может свидетельствовать о небольшой мощности просадочных пород — менее 5 м. Просадка грунта от собственного веса здесь обычно отсутствует или не превышает 5 см. Толщи лёссовидных пород небольшой мощности и незначительных просадок характерны для речных долин и их террас, тальвегов, оврагов. Влажность этих пород не превышает 18—20%, и они слабо реагируют на дальнейшее увлажнение. В этом случае устойчивость и эксплуатационная пригодность зданий достигаются устранением просадочных грунтов или прорезкой их глубокими фундаментами.

Вопрос большой важности, но очень слабо разработанный — определение по геоморфологическим данным устойчивости крупных инженерных сооружений в районах активной сейсмической деятельности, современных дифференцированных движений, развития локальных структур, разломов и т. п. В этих случаях геоморфологические методы дают наибольший эффект в тех районах, где развитие современного рельефа определяется тектоническими факторами и в строении его резко проявляются сейсмогенные элементы. Такие районы свойственны обычно сейсмическим зонам с силой землетрясений в шесть и более баллов.

Геоморфологические признаки тектонической неустойчивости территории выражаются как через морфоструктурные элементы — деформации полигенетических по-

верхностей, уступы, трещины, так и через активно развивающиеся экзогенные формы и процессы — оползни, оплывины, обвалы и т. п. Геоморфологическим методом устанавливается возможность главным образом поверхностных землетрясений и тектонических движений.

В ближайшее время геоморфологи должны создать специальную классификацию типов, форм и элементов рельефа для различных инженерных целей, в том числе и для предварительного определения по ним инженерных свойств грунта и его устойчивости.

ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА И КАТЕГОРИЯХ СТРОИТЕЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ РЕЛЬЕФА

Устойчивость территории, как правило, всегда учитывается проектом размещения инженерных сооружений и его частей. Однако выбор оптимальных условий размещения, представляя не менее важную проблему, чем все предыдущие, определяется не только морфометрией и устойчивостью рельефа, но и многими другими природными, техническими и экономическими факторами. Уровень современной техники позволяет размещать инженерные сооружения почти в любых самых сложных природных условиях. Однако стоимость работ по устранению неблагоприятных природных факторов, осложняющих строительство и дальнейшую эксплуатацию сооружений, может быть настолько велика, что размеры ее не будут оправданы экономическим эффектом, получаемым от эксплуатации сооружения. В таком случае возникает вопрос о целесообразности строительства. Примером такого рода расчетов может служить проект Нижне-Обской ГЭС, запроектированной у г. Салехарда. Как известно, в низовьях р. Оби предусматривалось строительство 42-метровой плотины, выше которой должно быть затоплено и подтоплено более 12 млн. га земель. Однако после тщательного изучения и топографических съемок поверхности Западно-Сибирской низменности установлено, что рельеф ее значительно более плоский, чем это представлялось ранее. Это обстоятельство не только увеличивает площадь затопления и подтопления, но и общую проектно-строительную стоимость работ по строительству гидротехнического

узла. Появление огромных водных пространств ухудшит условия оттока поверхностных и грунтовых вод, усилит увлажнение и заболачивание низменности. В зону затопления и подтопления попадут десятки миллионов квадратных метров леса, ценнейшие сельскохозяйственные угодья, крупные нефтяные, газовые, железорудные и угольные месторождения, а также основные населенные пункты и коммуникации. Потеря чистого дохода от эксплуатации сельскохозяйственных земель, месторождений полезных ископаемых, водоемов и возмещение убытков от затопления значительно превысили бы за срок амортизации Нижне-Обской ГЭС ее проектную стоимость.

Система экономической оценки геоморфологических условий строительства еще не разработана, и в настоящее время можно говорить лишь о путях будущих исследований. Один из возможных и наиболее простых путей экономического выражения геоморфологических данных состоит в оценке рельефа с точки зрения объемов его вертикальной планировки.

Размеры вертикальной планировки могут быть выражены объемом и стоимостью земляных работ, которые в значительной степени определяются рельефом местности. Сокращение размера планировки местности и, следовательно, объема земляных работ может быть достигнуто наиболее полным сочетанием объекта строительства с естественным рельефом, т. е. возможно более полным приспособлением его к местным геоморфологическим условиям. Вместе с тем при некоторых видах строительства, например железных и шоссейных дорог, приходится искусственно расчленять рельеф выемками и насыпями, что также связано с производством земляных работ.

Объем земляных работ и их стоимость можно положить в основу специального экономико-геоморфологического районирования территории. Возьмем для примера район развития песчаных гряд, пересечение которых линейными сооружениями сопровождается большим объемом земляных работ. Предположим, что при устройстве в песчаной гряде выемки объем вынутого грунта равен $5\,000\text{ м}^3$ *. Известно, что ориентировочная стоимость раз-

* Простые методы расчета объемов насыпей и выемок содержатся в учебном пособии И. И. Ващенко, М. Н. Кудрявцева, Е. Д. Черепанова «Проектирование трассы автомобильных дорог». Омское книжное издательство, 1961.

работки 100 м^3 рыхлого грунта экскаватором с емкостью ковша $0,65 \text{ м}^3$ (отсыпка грунта в насыпь) составляет 15 руб., тогда устройство выемки в одной гряде будет стоить 750 руб. При среднем расстоянии между песчаными грядами 2500 м на протяжении 10 км придется пересечь четыре такие гряды (коэффициент грядовости 0,4) и вынуть $20\,000 \text{ м}^3$ грунта, что будет стоить 3000 руб.

В другом районе, при прочих равных условиях, на расстоянии между грядами 1250 м коэффициент грядовости будет равен 0,8, а стоимость работы по выемке грунта увеличится условно в 2 раза.

Примерно в 2—3, а иногда и более раз меняется относительная покิโลметровая стоимость строительства автомобильных дорог на территории Западно-Сибирской низменности. Эти колебания стоимости в значительной степени определяются различиями в глубинах болот, степени заболоченности и заозеренности разных районов Западной Сибири (процент заболоченности в среднем колеблется от 25 до 80).

Известно также различие в величине затрат на освоение под строительство 1 га овражных территорий при различном коэффициенте их овражности. При коэффициенте овражности 0,1—0,3 и полной ликвидации оврагов затраты на 1 га осваиваемых овражных территорий составляют в среднем 200 тыс. руб. (Г. М. Барсуков, 1964). Таким образом, можно определить стоимость земляных работ при различных значениях коэффициента грядовости, овражности и т. п. Отсюда следует возможность стоимостного выражения природных рубежей — границ геоморфологических районов.

Коэффициент грядовости и овражности в их стоимостной оценке в какой-то степени выражает сложность рельефа по условиям строительства. По аналогии со шкалой оценки инженерно-геологических условий строительства можно выделить категории сложности условий рельефа: простые (незначительно удорожают строительство); осложненные (существенно удорожают строительство); сложные (в значительной мере определяют технические возможности и экономическую целесообразность строительства); весьма сложные (решают возможность и экономическую целесообразность строительства). Группировка типов и форм рельефа по категориям сложности должна проводиться в соответствии с техническими усло-

виями строительства. Целесообразно создание общей и частных (для различных видов строительства) классификаций рельефа по категориям их строительной сложности. Исследования в области экономической геоморфологии — один из наиболее перспективных и эффективных путей практического применения геоморфологии в строительстве.

Геоморфологические карты для инженерных целей.

Среди геоморфологических карт различают карты общего назначения, отражающие комплекс геоморфологических условий, необходимых для обоснования размещения инженерных сооружений, и специальные, или узкоприкладные, карты, где изображают формы проявления одного из природных процессов, осложняющих строительство.

Общие прикладные геоморфологические карты предназначаются для проектирования инженерных сооружений на стадиях генеральных схем, технико-экономических обоснований районных планировок, что определяет необходимость установления основных различий в строении отдельных частей территории. Поэтому эти карты можно определить как районно-оценочные. В большинстве случаев они имеют подсобное рабочее назначение и входят в качестве составной части в обзорные инженерно-геологические и оценочные природные карты.

На инженерно-геоморфологической карте среднего масштаба, кроме обычной морфогенетической основы, должны быть отражены: формы наземного и подземного рельефа, которые имеют значение для размещения сооружений на местности, определения их размеров, подсчета объема земляных работ, кубатуры воды (например, в водохранилище и т. п.); скорости физико-географических процессов, определяющие устойчивость территории или ее частей; геоморфологические районы по степени их сложности для строительства; элементы специальной нагрузки (створы плотин, границы затопления, варианты трасс дорог, разведочные линии и т. п.).

На мелкомасштабной врезке к карте можно дать сетку типов районов по геоморфологическим условиям типового проектирования инженерных сооружений. В принципе целесообразно выделять два типа геоморфологических районов: 1) районы простого и сравнительно однородного рельефа, где сходство ведущих для решения данной практической задачи инженерно-геоморфологи-

ческих показателей (расчлененности, уклонов и т. п.) позволяет применять типовые системы инженерного проектирования, и 2) районы сложного рельефа, где его разнообразие и резкие отклонения ведущих показателей от норм, допустимых при типовом проектировании, делают необходимым проектирование по индивидуальным проектам.

ИЗУЧЕНИЕ РЕЛЬЕФА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДОРОГ

Полотно дороги, протягиваясь на расстояние в сотни и тысячи километров, неизбежно попадает в различные географические условия. Поэтому из всех видов инженерных сооружений трассы дорог испытывают наибольшее влияние природных условий местности. В перспективном плане развития народного хозяйства нашей страны предусмотрено значительное строительство сети новых железных и шоссейных дорог. Многие из них будут строиться в очень сложных природных условиях, и лишь тщательный учет их может удешевить покилометровую стоимость полотна дороги и уменьшить трудовые затраты.

Стадии проектирования дорог*. Рельеф наиболее полно изучается в период изыскания трассы дороги, когда выбирается ее направление и места перехода через реки, проводятся исследования для земляного полотна и порталов (входов) туннелей, решаются вопросы водоснабжения и обеспеченности дороги строительными материалами.

Согласно инструкции проектирование дорог проводят в две, реже в три стадии. Двухстадийное проектирование применяется в несложных геоморфологических и геологических условиях. В первой стадии — технико-экономического доклада (ТЭД) изучаются и сравниваются варианты направления трассы с технико-экономической и инженерно-географической точек зрения. Это вызывает необходимость сбора данных о комплексе природных условий на значительной площади и сопровождается составлением частных отраслевых и комплексных физико-географических карт. Работы проводятся в масштабах от 1 : 250 000 до 1 : 2 500 000. Рельеф изучается главным

* Имеются в виду автомобильные и железные дороги, при проектировании которых принципы оценки рельефа сходны.

образом с точки зрения его орографии и морфометрии, необходимых для выбора трассировочного хода и установления плана и профиля дороги. На стадии ТЭД определяются общие стоимостные показатели и трудовые затраты.

На стадии проектного задания выбирается и уточняется основное направление трассы, намечаются площади возможных месторождений строительных материалов, места возведения отдельных сооружений, которые осматриваются на местности. Выбранное направление трассы разбивается на участки, одинаковые по техническим условиям строительства и эксплуатации. При этом особое внимание уделяется детальному изучению оползней, оврагов, осыпей, карста и других явлений, вызывающих деформации полотна дороги (масштаб от 1 : 500 до 1 : 2000). На стадии проектного задания определяются проектная смета дороги и объем земляных работ.

На стадии технических изысканий производится укладка дороги, для чего используются фотопланы масштаба 1 : 500—1 : 200. На местности исследуются лишь отдельные наиболее сложные участки.

К основным факторам, учитываемым при выборе трассы дороги, относятся рельеф местности, современные физико-географические процессы, горные породы и грунты, строительные материалы, водообеспеченность, экономико-географические условия. Трудно сказать, какой из этих факторов наиболее важен при выборе трассы, так как в отдельных случаях каждый из них может стать главным. Что касается рельефа и вообще географических условий местности, то в той или иной степени они всегда существенны при проектировании дорог и других наземных сооружений.

Влияние рельефа на профиль и план дороги. Длина линии, время хода поезда, расход топлива зависят от сочетания элементов плана и профиля дороги, поэтому в технической характеристике трассы дороги данные о ее плане и профиле занимают одно из важнейших мест.

План и профиль дороги зависят от рельефа местности, его уклонов, длины и профиля склонов, контуров форм рельефа. Требования к уклонам рельефа определяются категорией дороги и видом тяги. Для дорог государственного значения с большими грузопотоками количество преодолеваемых высот должно быть минимальным. Кро-

ме того, необходимы пологие уклоны, сочетающиеся со значительными по протяжению рельефа элементами и пологими радиусами закруглений. Для таких дорог благоприятные условия плана и профиля создаются на обширных крупноволнистых равнинах. Дороги местного значения с небольшим движением экономичнее вписывать в рельеф местности. Такие дороги имеют извилистый план.

Данные об уклонах рельефа необходимы для проектирования железнодорожных линий под паровозную, тепловозную и электрическую тяги. Так, в условиях горного, сильно пересеченного рельефа рационально проектировать электрическую тягу. В этом случае более мощная тяга, возможность дополнительного электрического торможения позволяют повысить крутизну руководящего уклона и укладывать трассу крутыми незатяжными уклонами, приближая ее к естественным условиям горного рельефа.

Согласно нормам и правилам проектирования автомобильных дорог, там, где есть возможность, принимают продольные уклоны не более 3%.

Длина склонов, приближающаяся к длине поезда, создает не более одного перелома профиля состава поезда. Минимальные благоприятные длины профиля могут создаваться в условиях крупнохолмистого рельефа при расположении вершин холмов на расстоянии не менее 750—1000 м один от другого.

Большое значение имеет также профиль склона. Прямые и вогнутые склоны (прямые при большой длине склонов, а вогнутые — при малой длине) создают преимущества во времени хода поезда. Выпуклые склоны, особенно при длине порядка 10 км, благоприятны в отношении величины конечной скорости поезда*.

План трассы дороги представляет сочетание отрезков прямых, сопряженных с кривыми. Размеры и кривизна сопряжений определяются характером высотных и контурных препятствий — формой и размерами возвышений, долинных замыканий, озер, болот. Так как уменьшение объема работ зависит от степени вписывания трассы в

* Величина конечной скорости поезда — это скорость, с которой поезд покидает рассматриваемый участок для дальнейшего следования.

рельеф местности, то в пересеченной местности наиболее удобен тот рельеф, который позволяет делать крутые и частые повороты дороги *. В горах радиусы кривизны очень малы и минимальным считается радиус 200 м (Альпы, Кавказ). На равнинах радиусы кривизны значительно больше (до 4000 м). Здесь приходится обходить главным образом контурные препятствия — озера, болота, излуцины рек.

Чем сложнее орографические контуры в полосе отвода трассы, тем больше протяжение криволинейных участков дороги. На дорогах Советского Союза благодаря преобладанию равнинного рельефа протяжение кривых участков составляет всего около 25% от общего протяжения железных дорог.

Расчетные скорости движения автомашин на шоссейных дорогах также зависят от морфометрических особенностей рельефа. Для всех категорий шоссейных дорог расчетная скорость движения автомашин в горах на $\frac{1}{3}$ меньше, чем на равнинах, и примерно на $\frac{1}{5}$ меньше в пересеченной местности (для дорог I и II категорий) **.

Типы трассировочных ходов по условиям рельефа. Рельеф территории определяет тип трассировочного хода и способы развития линии. Различают долинный, водораздельный, косогорный и поперечно-водораздельный ходы.

В долинах рек меньше и равномернее уклоны, лучше водоснабжение и гуще население. Но трассы дорог часто следуют здесь за многочисленными меандрами, перебрасываются с одного берега на другой, пересекают водотоки, лога и т. п. Особенно сложно трассирование в узких горных долинах, где много мест, закрывающихся осыпями, обвалами, лавинами.

Положительные и отрицательные свойства долин при оценке их под трассы железных и автомобильных дорог в значительной степени зависят от типа поперечного и продольного профиля и замыкания долины. Удобны для

* При вписывании трассы в рельеф местности удлиняется путь, а следовательно, увеличивается стоимость дороги. Это обстоятельство должно учитываться при сравнении вариантов плана дороги.

** I категория — дороги особо важного народнохозяйственного значения, II категория — дороги общенароднохозяйственного значения, III категория — дороги экономического, административного, культурного значения, IV и V категории — дороги местного значения.

трассирования пойменные, несильно меандрирующие долины, а также долины-каньоны, где возможна укладка трассы дороги по структурным уступам. Неблагоприятны ни в строительном, ни в эксплуатационном отношении глубокие долины-ущелья, где обычно проектируют серпантины с минимальными радиусами кривизны. В более широких долинах дороги укладывают петлей с заходом в их притоки. Такие способы трассирования, обусловленные особенностями морфологического строения долин, относятся к числу сложных.

О том, где удобнее проводить трассу дороги (по дну или бортам долины, ее правому или левому берегу, высоким или низким террасам), приходится решать в каждом случае отдельно, оценивая не только морфологию и морфометрию долины, но и генезис отдельных участков. В целом удобнее проводить дорогу по первой или второй надпойменной террасам, которые меньше изрезаны. На пойме опасны разливы и подмывы берегов, несудобны озера, староречья, болота, излучины реки, требующие обхода. Пойменные террасы обычно выбирают для укладки трассы в узких горных долинах, где нет более подходящих площадок. Но главное неудобство при использовании низких террас — трудность постепенного подъема дороги до самых верховьев долины. В связи с этим часто встает вопрос о сопоставлении двух различных вариантов трассы: а) укладка трассы на нижней террасе лишь в низовьях реки с последующим быстрым отводом ее на более высокие склоны долины для облегчения дальнейшего подъема в верховьях реки, б) укладка трассы по берегу реки на всем протяжении долины и строительство дороги в верховьях способами, соответствующими данным условиям рельефа (серпантина, спираль, петля).

Для того чтобы решить вопрос, по какому из склонов долины укладывать трассу, нужно оценить их с точек зрения: положения начального и конечного пункта трассы, крутизны склонов долины и развития террас, количества и расположения притоков, геологического строения и экспозиции склонов, характера физико-географических процессов, направления господствующих ветров в зимнее время (в связи с возможностью снежных заносов).

На равнинных территориях чаще применяется водораздельный тип трассировочного хода. Оценка рельефа

при водораздельном трассировании прежде всего зависит от типа водораздела. Широкие водоразделы часто являются древними поверхностями выравнивания, где трассу дороги можно проводить длинными ходами. На таких водоразделах внимание исследователя привлекают верховые болота, карст, просадки, пучины, снежные заносы. При большой мощности элювия возможно трассирование линии невысокими насыпями, что уменьшает объем земляных работ. Характерны также искусственные сооружения малых размеров, так как трасса пересекает здесь лишь верховья водотоков. Все это определяет невысокую по километровой стоимости дороги.

Значительно сложнее проектировать дорогу по узким водоразделам в условиях больших и частых колебаний высот, крутых подъемов и спусков. Здесь план линии извилист, так как приходится трассировать не по самому водоразделу, а по склонам отдельных вершин, переходя по седловинам с одной стороны возвышенности на другую. Склоны таких водоразделов пересечены узкими долинами, эрозионными и лавинными логами, переходы через которые связаны со значительным объемом земляных работ по сооружению насыпей и выемок. Крутым склонам водоразделов свойственны также гравитационные процессы — осыпи, обвалы, оплывины, лавино- и селеобразования.

Косогорный тип трассировочного хода применяется в том случае, если трасса спускается с водораздела в долину реки, к берегу озера или моря. Спуск обычно проводится петлями, которые вписывают в долины притоков и оврагов. Так как на склонах особенно интенсивны гравитационные процессы, то выявление устойчивых участков представляет важнейшую задачу при проектировании трассы.

Нередко подъем дороги к водоразделу завершается пересечением хребта выемкой или туннелем (поперечно-водораздельный ход). Опыт проектирования горных трасс показывает, что в этом случае рельеф следует изучать с точек зрения выбора наиболее узкого места хребта для пересечения его туннелем возможно меньшей длины; высоты пересечения хребта, зависящей от его ширины и положения зоны лавин и осыпей; входов в туннель (портал), которые могут засыпаться снежными и каменными лавинами или закрываться оползающими массами

грунта; устойчивых, в частности не закарстованных участков.

Давно дискутируется вопрос о пересечении Главного Кавказского хребта, причем основные трудности связаны здесь с выбором вариантов дороги, проходящей в различных, но везде сложных геоморфологических и климатических условиях. Низкое положение лавинной зоны на южном склоне Кавказского хребта ставит дорогу в зависимость от режима лавин. Безопасность и бесперебойность движения можно гарантировать лишь в случае пересечения хребта длинным туннелем вне лавиноопасной зоны или выше более коротким туннелем, но при условии строительства сложных противолавинных сооружений.

Оценка рельефа при устройстве земляного полотна. Рельеф оказывает существенное влияние на высоту насыпей и выемок, объем земляных работ и технические свойства грунтов. На равнинах земляное полотно обычно устраивается в насыпях высотой от 0,6—0,8 до 1,25—1,5 м. В засушливых районах с малым количеством зимних и летних осадков высота насыпи еще меньше — 0,2—0,3 м. В среднем объем земляных работ при возведении полотна автомагистралей I, II и III категорий на равнинах составляет от 12 до 25 тыс. м³ на 1 км дороги. На смежных участках таких территорий объем земляных работ мало отличается от среднего удельного объема, отнесенного к единице длины дороги.

Расчленение рельефа неизбежно влечет за собой увеличение высоты насыпей и глубины выемок, а следовательно, объема и стоимости земляных работ. В условиях сильно пересеченного рельефа земляное полотно сооружают в насыпях и выемках с рабочими отметками в 8, 12, 25 и более метров. Особенно трудными территориями считаются участки, прорезанные глубокими долинами с разницей отметок долин и водоразделов более 50 м на расстоянии не более 0,5 км. Высокие насыпи и глубокие выемки увеличивают на некоторых участках трассы объем земляных работ более чем на 100 тыс. м³ на 1 км, что в несколько раз превышает их средние удельные объемы по сравнению с равнинными дорогами. При глубине расчленения рельефа более чем в 12 м на расстоянии 1,5—2 км полотно сооружают по индивидуальным проектам.

Высота насыпи, объем земляных работ, типы земле-

ройных машин зависят не только от степени пересеченности рельефа, но и от микрорельефа, влияющего на технические свойства грунта. В дорожном деле грунт рассматривается как основание для насыпи и как балластный материал. Неблагоприятны для строительства тяжелосуглинистые, пылеватые и глинистые грунты, которые в понижениях рельефа нередко заболочены и пучинисты, льдонасыщенны, засолены и неустойчивы *. Без улучшения физико-механических свойств такие грунты не пригодны для устройства насыпей. Особенно неблагоприятные условия создаются при высоком стоянии грунтовых вод и затрудненном оттоке вод (при увлажнении грунта свыше 12—14% они теряют несущую способность).

В практике строительства дорог пониженные участки рельефа по характеру и степени их увлажнения принято делить на сухие территории без избыточного увлажнения, сырые — с избыточным увлажнением в отдельные периоды года и мокрые — с постоянным избыточным увлажнением **.

При выборе общего направления трассы геоморфологические данные могут быть полезными и для решения других вопросов проектирования дорог, например определения роли рельефа в снегозаносимости дорог и туманообразовании, поисках строительных материалов и источников водоснабжения. Так, в Восточной Сибири проектировщики дорог обычно рекомендуют обходить впадины, которые способствуют образованию устойчивых туманов, незащищенные пространства равнин из-за возможности штормовых ветров и т. п.

Когда выбрано общее направление трассы, приступают к уточнению положения ее отдельных участков в местах перехода трассы через долины, овраги, балки, а также в местах активного развития различных физико-географических процессов.

Оценка рельефа при выборе мостовых переходов. Для пропуска вод через земляное полотно возводят мостовые переходы — мосты разных размеров и конструкций через реки и крупные овраги, трубы для временных водотоков в небольших оврагах.

* К пучинистым грунтам относят грунты, содержащие более 22% частиц мельче 0,125 мм и более 17% частиц мельче 0,075 мм.

** Строительные нормы и правила. Автомобильные дороги общей сети СССР. Изд-во лит-ры по строительству, 1961.

При проектировании моста через крупный водоток изучают рельеф большого участка долины, так как почти всегда имеется несколько вариантов перехода через реку. О размерах исследуемой площади можно судить по изысканиям на трассе железной дороги Агрыз — Пронино — Сургут при переходе через р. Каму. Здесь сравнивались четыре варианта переходов, расположенных на участке протяжением около 80 км. Был выбран вариант, отклонивший трассу дороги на запад от кратчайшего направления, но позволивший избежать пересечения широких заболоченных пойм.

Переходу через долину реки должны удовлетворять следующие требования: наименьшая ширина долины, прямолинейное направление русла в межень и паводок и возможность подхода трассы к нему под прямым углом; отсутствие на участке перехода островов, перекатов, отмелей, кос, рукавов, а также значительных притоков; устойчивость берегов долины, что снижает затраты на устройство регуляционных сооружений.

В числе других факторов рельеф определяет также условия подхода к мосту. При пологих берегах реки или оврага делают эстакадные подходы к мосту и подходы в виде насыпи. Если же коренные берега реки круто обрываются к руслу, то их укрепляют от размыва специальными подпорками.

При проектировании мостовых опор рельеф изучается главным образом с точки зрения устойчивости склонов и дна долины в их наземной и коренной подземной частях. Кроме профиля, высоты и крутизны склона, серьезное внимание должно обращать на те процессы, основные силы которых действуют в горизонтальной и наклонной плоскостях. Процессы с таким направлением сил особенно опасны для склонов, так как при возведении мостовых опор они испытывают сильное боковое давление, особенно со стороны арочных железобетонных мостов. Распор берегов может повлечь за собою сдвиг части склона, чему способствуют оползни, осыпи и овраги. По-другому следует подходить к оценке рельефа на участке промежуточных мостовых опор. Эти опоры испытывают вертикальное давление веса ферм, временную вертикальную нагрузку при проходе по мосту тяжелых составов, дополнительную нагрузку от снега и льда. Поэтому здесь особенно важна устойчивость поверхности в смысле ее

осадки. Внимание исследователя в первую очередь должны привлекать процессы, основное действие которых направлено по вертикали, например различные просадки — суффозионные, карстовые, термокарстовые. Эти процессы характерны как для низких террас, так и для русла реки, где обычно располагаются промежуточные мостовые опоры. При проектировании последних необходимо также учитывать возможность возникновения на реке ледяных заторов и степень их опасности для моста. Так как появление на реке ледяных заторов обусловлено морфологией русла, то внимание исследователя привлекают суженные участки, перекаты, крутые повороты, острова, пороги. К числу рек с обильными заторами льда относятся Ока и ее южные притоки, Неман, Западная Двина, Сура, реки Сибири и Дальнего Востока.

В оврагах, балках и лощинах, по которым к полотну дороги возможно поступление воды, размещают малые искусственные сооружения — мостовые переходы с трубами. Для расчета отверстия мостового перехода нужно определить количество притекающей к трубе воды в единицу времени, т. е. расход воды в кубических метрах в секунду. Геоморфологические исследования в этом случае ограничиваются сбором данных о размерах и конфигурации водосборных бассейнов постоянных и временных водотоков (площадь бассейна, длина и уклоны русла, поперечный профиль долины в месте ее пересечения). Если нужно, геоморфолог может собрать и другие данные, необходимые для расчета отверстия малого мостового перехода: о продолжительности и интенсивности летних ливней и весенних дождей, снеготаянии, впитывающей способности почвенного и растительного покровов. В условиях песчаных грунтов или мохового покрова впитывающая способность почв очень велика и приток воды к отверстию мостового перехода может быть незначительным, что скажется на его размерах.

Существенные отклонения от общих правил проектирования дорог создаются в горах, песчаных пустынях, областях вечной мерзлоты.

Строительство дорог в песчаных пустынях. Специфику и трудности строительства и эксплуатации дорог в пустыне определяют высокие температуры воздуха, малое количество осадков, выпадающих преимущественно в зимне-весеннее время, сильные ветры, одноразмерность

мелких песков, их подвижность. Основные проблемы дорожного строительства в песчаных пустынях — правильный выбор трассы дороги при существующей циркуляции песчаных потоков и защита полотна дороги при неизбежной угрозе песчаных заносов.

Особенности проектирования дорог в песчаных пустынях прежде всего определяются дефицитом влажности, который совершенно меняет свойства грунта. Песчаные грунты приобретают подвижность, глинистые грунты становятся очень твердыми и способны пропускать потоки песка*.

Условия проектирования дорог в подвижных и закрепленных песках различны. Технические указания по проектированию автомобильных дорог предусматривают деление песков по степени их закрепленности на незаросшие (барханные), слабозаросшие (растительностью покрыто менее 15% поверхности), полузаросшие (растительностью покрыто от 15 до 35% поверхности) и заросшие (растительностью покрыто более 35% поверхности).

Проще строить дороги в закрепленных грядовых, ячеисто-грядовых и бугристых песках. Если направление трассы совпадает с направлением песчаных гряд, то рациональнее прокладывать ее в межгрядовых понижениях, сохраняя растительность и сокращая объем земляных работ.

Значительно сложнее проектировать дороги в подвижных песках. В этом случае необходимо собрать сведения о направлении, силе, повторяемости ветров, режиме и типе движения песка, его механическом составе, степени отсортированности, способности к переносу и зарастанию растительностью. Необходимо также выявить очаги выдувания, пути переноса песка и зоны его накопления.

Подвижность песка зависит от силы ветра, размеров зерен и степени закрепленности растительностью. По данным А. И. Знаменского (1953), путь, проходимый барханом, обратно пропорционален его высоте, т. е. их произведение величина постоянная, примерно равная десяти. Бархан высотой 1,7 м проходит 5,7 м/сут, высотой 0,8—

* Транзитные возможности поверхности подвижного песка почти в 37 раз меньше, чем гладкой поверхности. Этим объясняется незаносимость такыров.

10,9 м/сут. При сильном ветре скорость движения невысоких барханов может достигать 12—20 м/сут.

Наиболее опасны для дорог ветры со скоростью 5—10 м/сек, при которых летом накапливаются большие объемы движущихся песков. При большей скорости ветра (12 м/сек) мелкие частицы песка поднимаются высоко в воздух и уносятся далеко от очагов дефляции. Осенью, зимой и ранней весной влажный песок перемещается на небольшие расстояния лишь при скоростях ветра порядка 12—15 м/сек и возможность заноса песком полотна дороги невелика.

Для полотна дороги наиболее опасен поступательный тип движения песков, который возникает при длительном действии односторонних ветров и вызывает сплошные заносы песком (ст. Репетек, Барханы Ашхабадской ж. д.). Наибольшее выдувание в песках скачкообразно движущимися зернами начинается сразу же после гладкой поверхности, по которой ветропесчаный поток проносится с большой скоростью и на высоте не более чем 10 см от поверхности.

Проектируя трассу в подвижных песках, обычно избегают зон выноса и аккумуляции песков, отдавая предпочтение зонам транзита — такырам, солончакам, закрепленной растительностью песчаной равнине (ширина зоны ветропесчаного потока обычно не превышает 5—6 км). Исключают также участки с расчлененным рельефом и подвижными формами песков. При необходимости трассирования дороги через массив барханов ее укладывают вдоль барханов, по возможности перпендикулярно к направлению господствующих ветров. Так как концы барханных цепей смещаются и в продольном направлении, то при проложении трассы места выхода их на шоры и такыры обычно обходят. Лучшим продольным профилем дороги в песках считается обертывающий, не нарушающий существующих условий развития эолового рельефа. При таком профиле дорога как бы вписывается в рельеф песков.

Земляное полотно через массивы барханов проектируют в виде насыпей небольшой высоты — 0,3—0,5 м. Для обеспечения безаккумуляционного переноса песка через дорогу ей придают обтекаемый профиль, чему способствуют откосы 1 : 4, соответствующие углу наклона наветренных склонов барханов (15—20°).

Земляное полотно обычно возводят из местных грунтов, однако барханный песок для этих целей непригоден. Это мелкий подвижный «сухой плавун», который из-за однородности зерен не поддается уплотнению катками. Рациональнее укладывать полотно из местных засоленных грунтов, которые выдерживают продолжительное подтопление паводковыми водами и в теле дорожного полотна постепенно рассолоняются.

Несмотря на малое количество осадков и на хорошую водопроницаемость песков при возведении полотна дороги предусматривают сооружение водоотводов. Дело в том, что пески пустыни хорошо впитывают влагу лишь в своем верхнем слое и в первые минуты выпадения дождя. Далее впитывание настолько замедляется, что ливневые воды успевают сбегать по уклону быстрее, чем песок может их поглотить. При этом воды всегда несут с собой мелкие глинистые и илистые частицы, которые образуют на песках водонепроницаемую корочку. Таким образом, при общем дефиците влаги в пустыне сток превышает впитывание, что нередко вызывает размыв полотна дороги.

Среди форм эолового рельефа встречаются пятна такыров и солончаков. На плотных и ровных такырах дороге можно проводить в любых направлениях, но желательно с устройством дренажа, необходимого в период дождей. Появление на поверхности такыра «медальонов» свидетельствует о переходе его в неустойчивые пухляки и солончаки.

Инженерные свойства солончаков очень разнообразны и определяются составом солей, типом грунтов и условиями их водного питания. Наименее благоприятны в дорожном отношении сульфатные солончаки с напорными грунтовыми водами. Летом такие солончаки образуют белую волдыреобразную корку, под которой лежит черная пластичная масса, содержащая соединения сернистого железа. Такие солончаки непроходимы и при необходимости возведения на них земляного полотна его поднимают на высоту 2,5 м.

Хлоридные солончаки, дающие гладкую белую корку, плотнее и проще для возведения полотна. При этом быстрее размокают и теряют устойчивость песчаные солончаки, особенно весной, медленнее разбухают и высыхают глинистые солончаки.

При трассировании дорог в оазисах для расчета расстояния трассы от ирригационных каналов, а также возможности подтопления земляного полотна поливными и грунтовыми водами приходится учитывать фильтрационную способность грунтов. При этом трасса дороги обычно обходит бессточные понижения, где близок уровень грунтовых вод и возможно заболачивание. При пересечении дорогой внутриоазисных песчаных массивов пески, примыкающие к каналам, поглощая водяные пары и непосредственно увлажняясь фильтрационными водами, зарастают быстрее.

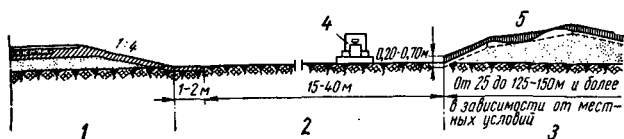


Рис. 15. Примерная схема защиты дороги от песчаных заносов (СоюздорНИИ, 1965).

1 — дорога обтекаемого профиля с укрепленными откосами и обочинами, 2 — спланированная полоса, систематически подвергаемая повторной планировке, 3 — полоса закрепления песков механической защитой и растительностью, 4 — бульдозер, 5 — подувная защита (клетки 2×2 и 4×4)

Борьба с дефляцией песков и песчаными заносами дорог состоит в рациональном выборе трассы дороги, что в значительной степени зависит от ее правильной геоморфологической оценки, создания условий для безаккумуляционного переноса песка через дорогу, закреплении подвижных песков разными видами механических защит и растительностью*.

Так как процесс аккумуляции песчаного материала зависит от неровностей земной поверхности, растительного покрова и резких падений скоростей ветра, то для безаккумуляционного переноса песка через дорогу надо создать возможно более гладкую поверхность для беспрепятственного пропуска по ней ветропесчаного потока,

* Методы закрепления подвижных песков растительностью, механическими защитами и вяжущими материалами подробно изложены в руководстве Союздорнии — «Строительство автомобильных дорог в песках». «Транспорт», 1965.

плавное очертание профиля дороги и отражательные сооружения — валы, заборы (рис. 15). При этом движение сложных барханных форм рельефа переводится в более простой процесс — ветропесчаный поток (тип поземки). А. И. Знаменский (1953) предложил для этого следующие способы: поярусное передувание барханов с последовательным закреплением нижней части наветренного склона механическими защитами или битумной эмульсией; создание отсечной полосы с отсечным валом и корытообразным понижением на подступах к охраняемому объекту; частичную фиксацию поверхности барханов галькой, гравием или другими материалами. Используя зарубежный опыт, С. А. Трескинский (1963) рекомендует раздувать барханы укладкой на их поверхности камней или бидонов, наполненных песком, которые создают вихревые струи с выносом песка.

По рекомендации СоюздорНИИ (1965) ширина планируемой полосы (разравнивание подвижных форм рельефа по сторонам земляного полотна) должна возрастать с увеличением размеров подвижных форм эолового рельефа (от 15 до 40 и более метров).

Основной метод закрепления песков — фитомелиорация (закрепление растительностью). Успешная фитомелиорация песков возможна лишь при тщательном учете комплекса природных факторов — направления активных ветров и движения песков, глубины и минерализации грунтовых вод, засоленности песков и ее источника, мощности слоя песков, распространения и ориентировки барханов и барханных цепей, естественной влажности песка, характера растительности и т. п.

В зависимости от местных условий закрепляется полоса песков шириной 25—40 и 125—150 м. Массивы барханов и барханных цепей равномерно зарастают по всей площади, при этом нередко используется способ так называемой раздвижки барханных песков. Этот способ основан на попеременном закреплении основания барханных песков по обе стороны от дороги и передувании их вершин через полотно при сезонном изменении направления и силы ветров. Способ раздвижки барханных форм используется для понижения их высоты, выполаживания и создания благоприятных условий для поселения растений.

Виды растений, рекомендуемые для закрепления песков на территории СССР

Южные пустыни

Aristida pennata (аристида перистая)

Calligonum caput medusae,
C. arborescens, *C. eriopodum*
и др. (джузгуны)

Salsola Paletziana и
S. Richteri (черезы Палец-
кого и Рихтера)

Haloxylon persicum (песча-
ный саксаул)

H. aphyllum (черный сак-
саул)

Tamarix ramosissima и др.
(гребенщики)

Северные пустыни

Aristida Karelini (аристида
Карелина)

Calligonum aphyllum, *C. ro-
tula* и др. (джузгуны)

Tamarix elongata, *T. laxa*
и др. (гребенщики)

Salix caspica (шелюга кас-
пийская) и др.

Elymus giganteus (колос-
няк гигантский) и другие
виды

Вспомогательными средствами, ослабляющими дви-
жение песков в период прорастания семян и укрепления
корневой системы растений, служат механические защи-
ты, эмульсии, пасты и другие способы фиксации поверх-
ности песков.

Все мероприятия по закреплению и планированию
придорожной полосы проводятся в охраняемой зоне, ле-
жащей на 50—500 м в стороны от оси дороги. В пределах
этой полосы приходится не только приспособляться к
условиям рельефа, сколько проектировать новый устой-
чивый рельеф.

Таким образом, при проектировании дорог в песчаных
пустынях прежде всего изучают движение песка и типы
эолового рельефа, режим ветров, виды растений — за-
крепителей песков. Геоморфологическое исследование
территории составляет лишь часть более широких физи-
ко-географических исследований.

Проектирование дорог в горах. Трассирование дорог
в горах проходит в особо трудных природных условиях,
когда приходится преодолевать большие уклоны и зна-
чительные колебания высот, пересекать хребты туннеля-
ми, сооружать многочисленные мостовые переходы через
долины рек и оврагов. Особенно сложно трассирование в
молодых горных системах, долины которых имеют отвес-
ные или выпуклые склоны, крутые продольные профили
и селевый режим водотоков. Удобнее для прокладки до-

рог старые горные сооружения с широкими, плавно падающими, иногда сквозными долинами.

В целом увязка горных дорог с рельефом местности сводится к огибанию так называемых высотных препятствий с отклонением от них на максимальную величину, допустимую техническими правилами проектирования плана и профиля дороги.

Условия горного рельефа сказываются не только на профиле и извилистости плана дороги, но и на характере ее поперечного профиля. Так как днища узких долин часто заняты на всю их ширину бурным потоком, то приходится укладывать трассу дороги по склонам. В зависимости от форм склона дорогам придают поперечные профили: полувыемки-полунасыпи на вогнутых склонах, полки на ступенчатых обрывистых склонах, лобовой выемки на волнистых склонах и седлах перевалов, полутоннеля на выпуклых склонах, тоннеля при пересечении высоких отвесных мысов и на перевалах.

При проектировании горных дорог большое практическое значение имеет экспозиция склонов. В большинстве случаев для трассирования дорог благоприятны склоны, обращенные на юг, так как они интенсивнее нагреваются, быстрее освобождаются от снега и просыхают. Южные склоны менее опасны и в смысле весенних деформаций полотна, а также оползневых и солифлюкционных явлений. Но в горных районах, где выпадает небольшое количество осадков, например в замкнутых горных районах Средней Азии, надежнее северные склоны, так как на них слабее выражены процессы выветривания, реже образуются осыпи, обвалы и они быстрее закрепляются растительностью. Кроме экспозиции, на устойчивость склонов влияет их крутизна. При любом направлении ветра, приносящем осадки, наклонные склоны увлажняются больше, чем отвесные.

Значительные уклоны горных долин в сочетании с резкими температурными колебаниями, ливневым характером осадков, сильными ветрами, раздробленными трещиноватыми породами вызывают появление в горах очень опасных для полотна дороги гравитационно-эрозийных процессов. Нередко приходится проектировать трассы дорог по селенопасным участкам гор и прямо по селеносным долинам. Несмотря на то что в большинстве таких случаев дорога проектируется с учетом проходе-

ния селевых потоков, все же они нарушают нормальное движение на отдельных участках Ашхабадской, Ташкентской, Закавказской, Туркестано-Сибирской железных дорог из-за неполноты учета природных особенностей селевых процессов. Почти ежегодно размываются дороги, сносятся мосты, забиваются наносами отверстия искусственных сооружений по рекам Ферганской долины — Карадарье, Акбуре, Исфайрамсаю, Шахимардан, Сох, Касансаю и другим.

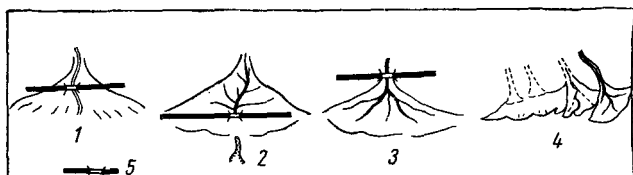


Рис. 16. Определение степени селеопасности по рисунку расчленения поверхности конуса выноса:

- 1 — затухающий конус выноса, 2 — вновь размываемый конус, 3 — растущий конус, 4 — система мигрирующих конусов выноса, 5 — трасса дороги с мостовым переходом

Проектированию трассы в селевых районах должно предшествовать общес физико-географическое изучение территории, направленное главным образом на выявление селеопасности, т. е. потенциальной возможности селевого потока переносить наибольший объем твердого материала в один паводок. Исследование района предусматривает изучение площади и формы селеопасного бассейна, его уклонов и высот, извилистости русла, состава и степени выветрелости горных пород, густоты и развитости корневой системы древесных и кустарниковых пород, процессов смыва и эрозии почв, лавинных и оползневых процессов, климатических условий района, особенно режима выпадения осадков.

Внешние признаки неселеопасности района — вычищенность водосборного бассейна от рыхлого материала и заросшая поверхность конуса выноса. На затухание селевых процессов и возможность трассирования дороги по конусу выноса указывает рисунок расчленения его поверхности с относительно устойчивым положением главного русла реки (рис. 16).

В практике железнодорожного строительства известны два случая поверхностного пересечения селевых до-

лин — поперечное и продольное. При поперечном пересечении, часто применяемом на дорогах Средней Азии и Кавказа, наиболее удобным считается узкий участок долины при выходе из гор. В этом месте перенос и отложение рыхлого материала более или менее уравновешены, а поэтому исключается опасность размыва и разрушения полотна, с одной стороны, и опасность завала полотна и сползания его по телу конуса, с другой. Кроме того, благодаря узости долины участок соприкосновения трассы с селевым потоком вообще невелик.

В неблагоприятные условия попадает трасса дороги при продольном пересечении селевого конуса выноса. Необходимость этого возникает при трассировании железнодорожных веток, направляющихся из главной речной долины в ее боковые притоки, например к местам добычи полезных ископаемых.

Не меньшую угрозу и неудобство для горных дорог представляют осыпи, обвалы и даже отдельно падающие камни. Более подвижны осыпи в сухом климате Средней Азии, устойчивее осыпи, курумы Сибири и Дальнего Востока. Но при прочих равных климатических условиях интенсивнее смещаются осыпи крутых выпуклых склонов без уступов, впадин, изгибов, осыпи сухих логов и ложбин, где они приобретают пиковидную и языкообразную форму. Менее подвижны циркообразные и шлейфовые россыпи у подножий склонов и уступов. Внешние признаки действующих осыпей — их незадернованная поверхность, хотя некоторые из глыб могут быть покрыты мхами и лишайниками, пустоты между глыбами, свежие сколы на гранях и ребрах глыб, полузасыпанные деревья. При необходимости устройства дорог в сфере действия осыпей целесообразнее проводить трассу у основания склона, как можно меньше врезаюсь в него, перекрывая наиболее подвижные участки осыпи галереями или обходными тоннелями.

Особо опасны для дорог снежные заносы и лавины. В горных районах заносимость дорог зависит не столько от количества снега, как это обычно бывает на равнинах, сколько от рельефа местности. При сухости и легкости горного снега, а также при значительных уклонах даже небольшие ветры сдувают снег в тальвеги, по которым он смещается к подножию склонов. Интенсивнее заносятся подветренные склоны гор и долин. Участки дороги,

расположенные на наветренных склонах, а также на склонах, которые совпадают с направлением метельских ветров, обычно хорошо продуваются ветром и не заносятся снегом.

Следует обращать внимание и на так называемый террасовый тип снежных заносов. Эти заносы образуются на склонах террас сравнительно широких долин там, где они прорезаются боковыми притоками. В результате надувания больших масс снега на скалистых склонах террас образуются нависающие сугробы в виде козырьков. Они обламываются и скатываются вниз по склону, заваливая снегом полотно дороги. Возникновение таких заносов, по-видимому, связано с восходящими потоками воздуха со дна долины на террасу.

На больших высотах в зоне максимального выпадения снега движение транспорта зимой обычно прекращается. Такие участки дорог чаще приурочены к перевалам, изучение снегозаносимости которых составляет ответственную часть работ при трассировании дорог через высокие горы. Оценивая снегозаносимость перевалов, надо сопоставить их положение с направлением движения влажных воздушных масс, а также с положением и высотой горных хребтов с наветренной стороны, способных вызывать выпадение снега. Но большое количество снега еще не свидетельствует об опасности снежного заноса перевала, которая определяется также режимом местных ветров и площадью снегосбора. Снег, выпадающий на склонах перевалов, сдувается нисходящими струями воздуха на перевальную седловину. И чем ровнее склоны, тем с большей площади сдувается на перевал снег. Поэтому из двух равных по высоте перевалов выбирают тот, склоны которого имеют наиболее сложный микрорельеф. Во избежании снежных заносов дорогу на перевалах правильнее трассировать по направлению господствующих зимних ветров и укладывать полотно по склону выше снегозаносимого понижения. Надежен для защиты от снега тоннельный вариант пересечения хребта, хотя и в этом случае дорога не освобождается от климатических воздействий. Снегозаносимость отдельных участков обычно не служит причиной изменения направления трассы, так как борьба с этим возможна во время эксплуатации дороги.

Значительно опаснее снежные лавины, обладающие

огромной разрушительной силой как вследствие непосредственного механического воздействия, так и благодаря воздушным волнам, сопровождающим лавины. Снежные лавины на горных дорогах Альп, Кавказа, Хибин, Прибайкалья неоднократно служили причиной очень серьезных повреждений полотна дороги и транспорта. К числу факторов, влияющих на возникновение и усиление лавинной опасности, Г. К. Тушинский относит геоморфологические условия, внутренние процессы изменения снежной массы (перекристаллизация снежной толщи), климат и тип погоды.

К геоморфологическим факторам, способствующим возникновению лавин, относятся крутизна склонов порядка 15—60° и микрорельеф поверхности склона, увеличивающий сцепление снежного покрова с подстилающей поверхностью. Усиливают лавинную опасность неглубокие кары и крутые лога, способствующие энергичному выносу снега в долину, вогнутые склоны, где удерживается много снега, узкие плечи трогов и структурные уступы, где формируются прыгающие лавины.

Проектирование дорог в лавиноопасных районах предусматривает решение таких главных вопросов, как степень подверженности отдельных вариантов трассы дороги снежным лавинам, выбор трассировочного хода на лавиноопасном участке и рекомендации по защите полотна дороги от лавин.

Практическим выводам о способах перехода через лавиноопасные участки обычно предшествует составление карт прогноза лавинной опасности. Эти карты в значительной мере основаны на анализе геоморфологического строения лавиноопасной зоны.

Проектирование инженерных мероприятий по защите полотна дороги от лавин предусматривает также исследования лавиносборов, поверхности водоразделов и гребней для возведения каменных стенок и щитов, удерживающих снег на наветренных склонах до поступления его в лавиносборы; микрорельефа, формы и крутизны склонов для проектирования сооружений против соскальзывания с них снега (канавы, колья, плетни, облесение); логов, переломов склонов для устройства направляющих отбойных дамб и лавинорезов; морфологии лавиноспусков для проектирования снегопропускных сооружений (навесы, галерси, полутоннели, тоннели).

В большинстве горных лавиноопасных районов СССР ведутся специальные исследования лавин и условий пересечения лавиноопасных мест.

Трассирование дорог в условиях многолетней мерзлоты. Явления мерзлоты настолько распространены и многообразны, оказывают такое неблагоприятное действие на полотно дороги, что изучению их в дорожном деле уделено значительно больше внимания, чем другим природным процессам. Мерзлотные явления — бугры пучения, наледи, термокарст, солифлюкция, полигональные формы — учитываются обычно для каждого участка трассы.

Пучение грунтов — одна из наиболее распространенных причин деформации полотна железных и шоссейных дорог. Пучины возникают при замерзании воды в порах рыхлых, особенно глинистых пород, и чаще всего появляются на полотне дороги поздней осенью или зимой, а исчезают весной или летом. В практике дорожных изысканий в зависимости от условий образования пучины принято делить на верховые и коренные.

Верховые пучины — плоские бугры высотой 5—10 см, образующиеся после скапливания и замерзания воды в верхней части полотна дороги, в так называемых балластных корытах. Коренные пучины появляются чаще в выемках, и высота их достигает 30—40 см. Источники их образования — грунтовые воды, циркулирующие под путями. Пучению подвергается не только само полотно, но и свайные основания мостов, которые постепенно деформируются. Рельеф, обеспечивающий наилучший водоотвод, уменьшает возможность возникновения пучин.

Опасны для дорог грунтовые наледи, которые возникают систематически в одном и том же месте и вызывают повторные деформации полотна дороги, мостов, труб. Положение и форма наледи определяются рельефом местности вдоль трассы дороги. Чаще всего грунтовые наледи возникают на склонах, у подножия террас и в зависимости от подстилающего рельефа приобретают округлую, грушевидную, лопастную, линейную форму. Нередко они появляются после постройки дороги, которая нарушает естественный гидротермический режим грунтов.

Речные наледи представляют препятствия для дороги лишь в том случае, когда она проходит по узкой реч-

ной долине, заливаемой наледью на всю ширину. На небольших реках наледные бугры могут забивать и даже деформировать пролеты мостов. При проектировании мостов в условиях мерзлоты следует избегать перекаатов, мелких и узких участков рек, т. е. тех мест, где чаще всего возникают речные наледи.

В случае нарушения теплового режима мерзлых грунтов образуются просадки, ямы и воронки, быстро заполняющиеся водой. Одна из причин возникновения таких термокарстовых форм — постройка различных искусственных сооружений, в том числе полотна дороги. Изменение теплового режима грунта вызывает возникновение просадок и провалов на полотне многих дорог северо-востока СССР. Так, при строительстве автомобильной дороги Куйга — Депутатский в Якутской АССР трасса будущей дороги была пересечена следами тракторов и автомашин. Это вызвало протаивание льдистых грунтов и их большую осадку. На некоторых участках трассы поверхность осела на 0,3—0,4 м, и местность стала непригодной для возведения дорожной насыпи.

При неглубоком залегании мерзлоты на склонах возникают солифлюкционные явления. Плывучесть грунта особенно характерна для крупных выемок, с которых при оттаивании деятельного слоя на линию дороги стекает грунт. В дождливое время такие выемки превращаются в трясины, в которую погружается полотно дороги.

Все эти явления учитываются при выборе направления и укладке трассы дороги. Согласно техническим указаниям по изысканию, проектированию и постройке дорог в районах вечной мерзлоты, при выборе варианта дороги предпочтение должно отдаваться долинным ходам и укладке трассы на II и III надпойменных террасах. При этом дорогу не рекомендуется приближать к тыловому шву террасы, где интенсивны грунтовые наледи, снеготранспорты, осыпи, оползни и т. п.

Наиболее неблагоприятны для трассирования дорог в условиях многолетней мерзлоты склоны возвышенностей, а также заболоченные котловины, где велики льдонасыщенность, протаивание и просадка пород. Особенно неустойчивы делювиальные склоны, где при промерзании грунта возникают боковое давление, усадки и скольжение деятельного слоя по наклонной кровле многолетней мерзлоты.

Выбор склона долины определяется состоянием ее грунтов. В мерзлых грунтах трассу дороги закладывают на склонах северной экспозиции. Для уменьшения осадок полотна осенью и зимой перед его укладкой для лучшего промораживания грунта с него снимают моховой покров и убирают снег. На территориях с деградирующей мерзлотой полотна укладывают по склонам южной экспозиции и вообще на положительных формах рельефа. Для убыстрения протаивания льдонасыщенных грунтов весной придорожную полосу расчищают от лесного, мохового и почвенного покрова.

На болотах вследствие плохой теплопроводности мха и торфа верхняя граница многолетней мерзлоты лежит на глубине не более 1 м, поэтому грунт для насыпи укладывают прямо на поверхность болота. Летом оттаявшие торф и мох сжимаются и насыпь опускается в болото. Насыпь досыпается до тех пор, пока под ней не прекратятся протаивание и просадка. Помимо явлений и процессов, связанных с многолетнемерзлыми грунтами, их сезонным промерзанием и протаиванием, в программу изучения территории для строительства дорог входит также сбор данных о мощностях многолетнемерзлых грунтов (более 10 м), температуре в подошве слоя годовых колебаний, границах распространения и типах многолетнемерзлых пород. Исследования по проектированию дорог проводят как летом, так и зимой, когда изучают явления наледей, пучения, снеготаносимости и т. п.

В горах, песчаных пустынях, районах развития многолетней мерзлоты часто встречаются участки с массовым развитием форм рельефа, свойственных различным географическим зонам и областям. К ним относятся участки распространения оползней, карста, оврагов, просадок, болот и т. п. Появление таких форм на больших площадях существенно осложняет строительство дорог в отношении их плана и профиля, устойчивости земляного полотна.

Оползни опасны широтой своего распространения, разнообразием причин возникновения, преимущественным развитием по склонам долин, берегам морей, т. е. элементам рельефа, чаще всего используемым для прокладки трасс дорог. Проектирование защит от оползания в зоне трассы усложняется еще и тем, что полотно дороги,

особенно железной, увеличивая нагрузку на склон, способствует нарушению равновесия слагающих его пород. На некоторых оползневых участках неоднократно приходилось переносить полотно дороги, проводить дорогостоящие противооползневые мероприятия и вводить предупреждения об ограничении скорости движения поездов («Окский косогор», дороги юго-западной части СССР). Изучение оползней при проектировании дорог проводится по общей схеме, предусматривающей влияние в полосе отвода дороги комплекса природных условий, в том числе рельефа подстилающей поверхности и его изменений в процессе развития оползней.

Овраги неудобны прежде всего потому, что они увеличивают стоимость эксплуатации дорог за счет большого количества малых искусственных сооружений или удлинения линии при их обходе. Для проектирования дорог в овражных районах необходимы данные о расположении оврагов по отношению к трассе дороги, их морфологии и особенно асимметрии овражных склонов, о направлении роста, интенсивности оврагообразования.

Наибольшую опасность представляют, конечно, большие овраги, в борьбе с которыми эффективны инженерные меры защиты. Они основаны на выполаживании частных уклонов дна оврага и, следовательно, ослаблении размывающей деятельности потока. В зависимости от стадии развития оврага укрепляют его вершину, дно или борта. Вопрос, по какому из склонов оврага — крутому или пологому — удобнее проводить дорогу, решают в каждом случае отдельно, в зависимости от причин асимметрии.

Крупные эрозионные формы рельефа, например большие лога, понижения древних долин, балки, целесообразнее обходить, вписывая трассу в их верховья. В указаниях по проектированию железных дорог установлены определенные соотношения между рельефом и условиями вписывания трассы в крупные лога. За основные показатели, определяющие размер и форму логов, приняты ширина лога, крутизна его склонов и угол поворота в замыкании лога. Прямое пересечение лога целесообразно при крутизне его склонов, не превышающей 3%, ширине 300—800 м и малых углах долинного замыкания (поворот горизонталей до 20°). При крутизне склона более 6%, ширине 1500—2500 м и средних углах долинного за-

мыкания (поворот горизонталей 50—70°) выгоднее проводить глубокое вписывание трассы.

При строительстве в степной зоне прудов трассы дорог нередко прокладывают поперек балок. Сооружением в балке небольшой плотины одновременно решаются две задачи — переход ее трассой дороги и создание водоема.

В районах действующих оврагов, где рельеф изменяется очень быстро, геоморфологические исследования должны проводиться не ранее чем за год до начала оврагоукрепительных работ.

Оценивать *закарстованные участки* местности при трассировании дорог прежде всего следует с точки зрения надежности, устойчивости карстового массива в основании сооружений. Карстовые формы поверхностного выщелачивания (воронки, поля) в целом неопасны для полотна дороги, так как они растут очень медленно и за это время полотно дороги можно укрепить. Большую опасность представляют воронки, образовавшиеся от оседания поверхности над глубинными карстовыми формами. Такого типа воронки характерны для районов, где карстующиеся породы покрыты рыхлыми наносами или коренными породами, не способными к выщелачиванию.

Небольшие и глубоко расположенные пустоты вызывают эластичные прогибы кровли и воронки прогиба без крупных трещин и существенных нарушений полотна дороги. Крупные и неглубоколежащие пещеры, как правило, вызывают обрушение пород и образование карстовых колодцев со ступенчатыми склонами, трещинами на дне и бортах провалов. Такие нарушения вызывают внезапные деформации полотна дороги.

Наиболее опасными карстовыми районами считаются такие, в которых проявляются молодые карстовые процессы, например Уфимский район, где известны не только молодые и старые карстовые воронки, но есть предпосылки для дальнейшего активного развития карста.

Карст широко распространен на Уфимской железной дороге, на дорогах Мордовской АССР, на Московско-Донбасской железной дороге и некоторых других дорогах нашей страны.

В предгорьях, сложенных пылеватыми и засоленными глинистыми породами, нередко встречается глинистый карст. При необходимости укладки полотна дороги на

таких участках следует предусмотреть паронепроницаемость дорожного покрытия, конденсацию влаги и возможность ускоренного образования карста под полотном дороги. В этом случае рекомендуется укладка полотна дороги на мощных подушках из некарстующихся и обессоленных грунтов (С. А. Трескинский, 1963).

Исследования карста вдоль полотна дороги должны проводиться не на узкой полосе, где отдельные явления могут быть плохо выражены, а на большей площади, чем это обычно принято в практике дорожных изысканий.

При необходимости проектировать дорогу в районах развития *просадочных форм рельефа* в лессовых породах прежде всего надо учитывать интенсивность развития просадочного процесса и дополнительную нагрузку полотна дороги на грунт. В районах с ясно выраженными просадочными формами рельефа полотно дороги следует укладывать на участках массового развития округлых холмов и воронок, свидетельствующих об ослаблении просадочного процесса и уплотнении лёссов.

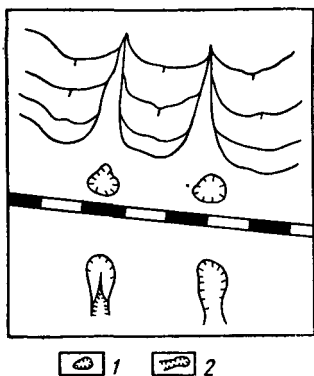


Рис. 17. Опасное для устойчивости полотна дороги положение просадочных и овражных форм рельефа:

1 — провальные воронки, 2 — овраги с суффозионной вершиной

Обширные плоские поверхности в районах развития лёссовых пород, отвесные уступы, каньонообразные овраги, редкие воронки служат признаком активной просадочности и возможности появления новых просадок в основании насыпи дороги (рис. 17). Усиливают просадочность лёссовидных грунтов вертикальные поры и корневая система растений, облегчающие фильтрацию воды, а также ходы землероев, способствующие распространению воды в горизонтальном направлении. При дополнительной нагрузке в виде насыпи дороги и проходящего транспорта даже небольшие просадки в 5 см деформируют полотно. Быстрорастущие в лёссах овраги чаще появ-

ляются в кюветах, на откосах выемок и насыпей. Наиболее устойчивая в лёссовых породах форма откосов (10:1) свидетельствует о соответствии их естественным свойствам лёссов образовывать крутые стенки.

Разнообразные просадочные явления характерны как для дорог Средней Азии, так и для дорог северных районов Западной Сибири. В Средней Азии при прокладке дорог на просадочных грунтах избегают приближения их к ирригационным каналам, орошаемым полям и садам ближе чем на 200 м. В Западной Сибири на стенках выемок и насыпях из пылеватых суглинков и песков возникает много промоин, сплывов, балластных корыт. Однако просадки в основании насыпей из-за значительного увлажнения грунта появляются редко.

Дороги равнинных областей часто пересекают заболоченные пространства. При проектировании по ним дорог вне зоны многолетней мерзлоты прежде всего приходится учитывать происхождение болота, его тип и свойства торфа, источник питания болота и возможность его осушения, рельеф дна болота и мощность слоя торфа. При трассировании дорог по заболоченным водоразделам чаще всего приходится иметь дело с неглубокими верховыми болотами, которые можно пересечь невысокими насыпями. При плотном торфе и глубине болота менее 1,5 м торф вынимают и насыпь дороги укладывают на плотный грунт. Глубокие низовые болота или обходят, или пересекают неоднократно подсыпаемой деформирующейся насыпью.

РЕЛЬЕФ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Гидротехническое строительство обычно предусматривает комплексное использование речных бассейнов, поэтому в состав гидротехнического узла входят сооружения различного назначения. Они определяют технические требования, которые учитываются при оценке природной обстановки строительства.

В гидротехнических изысканиях рельеф приобретает значение одного из факторов, определяющих пригодность территории для постройки плотин, устройства водохрани-

лиц, деривационных каналов*. Нередко резко выраженные особенности рельефа территории становятся главными в решении вопроса о народнохозяйственной рентабельности гидротехнического сооружения.

При строительстве гидротехнических сооружений, работа которых связана с удержанием и пропуском огромных масс воды, общими и основными техническими требованиями являются устойчивость сооружений — устойчивость плотины на осадку, сдвиг в основании и у бортов долины, устойчивость берегов водохранилищ и каналов и минимальная фильтрация — под плотину и в обход ее, в днище и борта водохранилищ, каналов. В зависимости от природных условий строительства технические требования могут меняться. Например, при строительстве водохранилищ в горах важное техническое требование — их минимальное заиление, на равнинах существенны вопросы затопления и подтопления, а в пустынях — засоление вод. Общее экономическое требование — возможно меньшая стоимость всех сооружений.

В связи с этим оцениваются формы и уклоны рельефа, определяющие тип сооружения, его размеры, условия подтопления и затопления прилегающих к долине территорий, физико-географические процессы, угрожающие устойчивости бортов будущего водохранилища и способствующие усиленной переработке берегов, фильтрации из водохранилища и заносу его рыхлыми осадками.

Содержание геоморфологических работ существенно меняется в зависимости от типа гидротехнического сооружения и стадии проектирования. На стадии предварительного проектирования или стадии составления технико-экономического доклада (ТЭД) устанавливается техническая и экономическая целесообразность строительства, выбираются места под первоочередные объекты. Возникает необходимость в составлении схемы использования большой территории, поэтому геоморфологические исследования обычно начинаются с общего изучения местности, направленного на выяснение основных различий в строении отдельных участков поверхно-

* Ирригационные сооружения рассматриваются в главе «Изучение рельефа с сельскохозяйственными целями», так как их проектирование в значительной степени определяется сельскохозяйственными особенностями территории.

сти. Рациональная форма выражения результатов общего геоморфологического анализа — геоморфологическое районирование, которое позволяет установить наиболее благоприятные участки для водохранилищ, плотин, деривационных сооружений. На выбранном под строительство участке должны быть выяснены возраст долины, основные этапы и современная стадия ее развития, а также определены примерная мощность аллювиальных отложений, глубина залегания коренных пород, форма подземной части долины и условия фильтрации*.

При проектировании гидротехнических сооружений не менее важны морфометрические характеристики рельефа, которые позволяют судить о возможной длине и высоте проектируемой плотины, ширине ее основания, размерах и форме водохранилища.

На стадии ТЭД выявляются также физико-географические процессы, границы их распространения и степень опасности для гидротехнических сооружений. Геоморфологические исследования на стадии ТЭД проводятся в масштабах 1 : 200 000 и 1 : 100 000.

На стадии проектного задания окончательно определяются место, тип и размеры сооружений, поэтому главное внимание уделяется различиям в геологическом и геоморфологическом строении долины по вариантам створов плотины, изучается рельеф чаши водохранилища в связи с уточнением отметки подпора. Сравнивается активность физико-географических процессов на вариантах площадей, выделенных под строительство. Геоморфологические исследования проводятся в масштабе от 1 : 50 000 до 1 : 10 000.

В стадии технического проекта окончательно устанавливаются места сооружений, их тип и конструкция и поэтому большое значение приобретают шурфовочные и буровые работы, опытные работы по изучению скоростей физико-географических процессов, устойчивости горных пород и т. д. Хотя значение геоморфологических работ на этой стадии уменьшается, практически приходится обращаться к геоморфологическому анализу при размещении разведочных скважин и оценке влияния природной обстановки на скорость течения различных процессов, при исследовании устойчивости бортов водохранилища, усло-

* На стадии ТЭД буровые работы обычно не производятся.

вий его заполнения наносами, затопления и подтопления.

В стадии рабочего проекта, предусматривающего разработку рабочих чертежей, геоморфологические исследования не проводятся. Таким образом, применение геоморфологических исследований наиболее эффективно на двух первых стадиях проектирования.

Еще в большей степени содержание геоморфологических исследований зависит от типа сооружения.

Оценка рельефа для выбора створа плотины. Выбор участка для размещения тяжелых бетонных сооружений гидроузла, к которым относятся и плотины, — одна из главных и наиболее сложных задач первого этапа проектирования. Изыскания для выбора створа плотины обычно начинаются с общего изучения типа долины, ее плана и профиля.

Тип долины влияет на выбор типа плотины и гидроэлектростанции. В узких ущельеобразных долинах и долинах-каньонах обычно возводят глухие железобетонные плотины. Узость долины обуславливает небольшую длину плотины, поэтому паводковые воды сбрасывают через водосливы, устанавливаемые в берегах. При обычной для таких рек крутизне не только поперечного, но и продольного профиля долины в чашу водохранилища поступает очень много наносов, поэтому одновременно приходится проектировать и достаточно высокие плотины. Короткие, но высокие и узкие в основании бетонные плотины требуют прочной связи с основанием. Крутые же склоны горных долин обычно служат местами интенсивного проявления физико-географических процессов — обвалов, осыпей, оползней, что побуждает внимательно оценивать их роль в формировании и устойчивости склонов. Геолого-геоморфологическая съемка склонов составляет в этом случае наиболее ответственную часть полевых исследований.

На равнинных реках с малыми уклонами русла и пологими берегами обычно проектируются плотины и гидроэлектростанции с водохранилищами большой емкости. Значительная ширина долин позволяет устраивать водосливные сооружения в теле самой плотины (например, в бетонной плотине Каховской ГЭС на Днепре). Для продольных профилей больших равнинных рек ледниковых областей характерно чередование участков с пологим и более крутым падением. Участкам пологого падения

обычно соответствуют площади слияния долин или озеровидных расширений палеодолин. Здесь менее целесообразно возводить плотины не только из-за увеличения ее длины, но и из-за состава пород (неоднородный тонкозернистый иловатый аллювий большой мощности).

Для равнинных рек характерны большие мощности аллювия. При мощности аллювия свыше 30 м земляные плотины обычно укладывают прямо на аллювиальной толще, при меньшей мощности бетонные сооружения плотины углубляют в рыхлую толщу и размещают на коренных породах погребенного рельефа. Поэтому днищам равнинных рек следует уделять серьезное внимание. На стадии ТЭД хорошие результаты по изучению погребенного рельефа дают геоморфологические и геофизические методы, а на стадии проектного задания — геологоразведочные методы (шурфовка и бурение).

Наиболее благоприятные условия для строительства плотин и водохранилищ создаются в поперечных четковидных долинах, где удачно сочетаются сужения долин, выгодные для строительства плотин, и расширения, удобные для организации водохранилищ. В суженных участках долин твердые породы создают надежную основу для тяжелых бетонных сооружений, большие скорости течения препятствуют отложению здесь наносов, которые затрудняют эксплуатацию плотины и доступ воды к водозаборному сооружению. Кроме того, суженные участки долин чаще всего имеют прямолинейные русла и однообразные поперечные сечения на значительном протяжении выше и ниже плотины. Если здесь развиты твердые породы, то это уменьшает возможность обхода плотины рекой. Примером такого участка служит место прорыва р. Курой хребта Боздаг, где сооружена высоконапорная Мингечаурская плотина.

Сходные условия создаются в антецедентных и эпигенетических долинах, где увеличиваются скорости течения, уменьшаются мощности аллювия и вскрываются коренные породы.

Сужения долин, вызванные оползнями, завалами, выдвиганием в реку мощного конуса выноса, несмотря на благоприятные условия рельефа, опасны для сооружения высоконапорных плотин. Выявление суженных участков долин и выяснение их происхождения составляет одну из важнейших задач первых этапов геоморфологических

исследований. Независимо от происхождения суженного участка большая глубина долины потребует строительства высокой плотины, а свойственные узким долинам крутые склоны осложняют создание непроницаемого сопряжения их с телом плотины.

Оценка рельефа для выбора чаши водохранилища. Рельеф чаши водохранилища должен оцениваться с точки зрения сохранения запроектированного объема воды, скорости заиления и зарастания водохранилища, заполнения и подтопления прилежащих к нему территорий. Данные о форме водохранилища нужны также для уточнения отметки подпора, установления соотношения полезного слоя водохранилища с его мертвым объемом*. При одной и той же высоте отметок подпора, но в разных геоморфологических условиях объемы водохранилищ, их площади и формы неодинаковы. Эти показатели будут меняться и при увеличении высоты отметки подпора. В долинах с прямыми и крутыми склонами повышение отметки подпора на каждый метр вызывает почти пропорциональное увеличение объема водохранилища, но при этом площадь его почти не меняется. В долинах с низкими и пологими, часто выпуклыми склонами берегов и пологим продольным профилем такое увеличение высоты подпора вызывает непропорциональное увеличение объема и площади водохранилища. В целом, чем выше подпор и шире долина, чем ниже ее берега и положе продольный профиль, тем больше площадь водохранилища.

Форма большинства водохранилищ определяется формой коренной затопленной долины. Извилистая форма водохранилища образуется в долинах с многочисленными притоками, по которым разливаются воды. Например, узкая длинная четковидная форма Цимлянско-го водохранилища определена формой долины Дона и его крупных притоков — Цимлы, Чира, Аксая Курмоярского. Большие и часто мелкие заливы образовались в подмосковных водохранилищах, воды которых затопили лопастные долины моренного рельефа. Заливы увеличивают площадь испарения с водной поверхности, благоприятствуют зарастанию берегов и заилению во-

* Эта работа проводится обычно на стадии проектного задания.

дохранилища, что в конце концов уменьшает его полезный объем.

Для создания водохранилищ удобны широкие, но глубокие долины с ясно очерченными, довольно крутыми берегами и не слишком пологими продольными уклонами. Это способствует концентрации вод и не дает им растекаться на большие пространства*.

Оценка рельефа при выборе чаши водохранилища требует учета и других природных факторов, в первую очередь состава и строения горных пород, режима реки и климата. Например, в условиях неравномерного режима осадков иногда удобнее не глубокая чаша водохранилища, а плоская, где уровень воды будет мало колебаться и это не отразится на работе гидростанции.

Устойчивость рельефа. Устойчивость рельефа и слагающих его пород — одна из наиболее ответственных частей исследований по проектированию гидротехнического узла. С технической точки зрения, наиболее важна устойчивость основания плотины и мест ее примыкания к бортам долины, поэтому геоморфологические исследования сосредотачиваются на склонах, к которым примыкают плечи плотины, и на днище долины, где размещаются тяжелые бетонные сооружения.

Еще при составлении схемы комплексного использования реки должны быть ясны основные этапы истории развития долины, выявлены контуры древних долин. В отношении устойчивости склонов и горных пород обычно неблагоприятны долины, выполненные отложениями с низкой несущей способностью, например озеро-ледниковыми. Это может быть причиной выбора другого варианта створа плотины, как это имело место при строительстве Каунасской ГЭС. Древние ложбины, выполненные флювиогляциальными песчано-гравелистыми отложениями и мореной, осложнили выбор участка для бетонных сооружений на левобережье Москвы-реки в районе Можайского гидроузла. Неблагоприятны также долины, находящиеся в стадии энергичного врезания и боковой эрозии, долины вложенные (с большой мощностью неоднородного по составу аллювия), доли-

* Площадь и емкость водохранилища можно рассчитать простым способом, изложенным в работе И. В. Буслаева и Н. С. Калачева «Элементы морфометрического анализа речных долин». Изд. АН Каз. ССР, сер. энергетическая, вып. 2 (16), 1959.

ны с узкой погребенной частью. В последнем случае неудобен поперечный профиль погребенной долины, при котором негде поставить фундамент сооружения. Наоборот, благоприятны для строительства гидротехнических объектов погребенные долины с серией коренных террас, создающих естественные площадки — упоры.

Крутизна склонов долины влияет на интенсивность развития процессов, определяющих их устойчивость. Наибольшее значение имеют оползневые процессы, процессы оседания, обвалов и осыпей, карстовые и суффозионные. Из семи вариантов створов Чебоксарской ГЭС на участке в 50 км четыре створа были исключены из-за крупных многоярусных оползней в известняках и мергелях татарского яруса на высоком правом берегу Волги. Опасны оползневые процессы и в областях ледниковой аккумуляции, где склоны нередко сложены чередующимися водонасыщенными песчаными и водоупорными глинистыми породами.

При оценке устойчивости склонов затапливаемой долины процессы, действующие на ее берегах, должны изучаться главным образом в отношении их возможной активизации при заполнении чаши водохранилища. Это особенно относится к оползневым процессам, которые активизируются при подмыве берегов и подпоре уровней грунтовых вод, вызывающих гидродинамическое и фильтрационное давление в грунтах. Опасное увеличение неустойчивости склона характерно, например, для берегов Цимлянского и Куйбышевского водохранилищ, где после заполнения их чаш резко активизировались оползни. В тех случаях, когда нельзя избежать примыкания плотины к оползневым склонам, нужно использовать наиболее пологие участки склонов, подпираемые террасами.

Устойчивость основания плотины должна оцениваться также с точки зрения возможности развития ранее созданных карстовых пустот, которые опасны в смысле обрушения известняковой кровли под тяжестью плотины.

Помимо оценки естественных условий устойчивости склонов и днища долины, выявления форм рельефа и процессов, вызывающих неустойчивость местности, необходимо проверить соответствие инженерных расчетов устойчивости местным природным условиям. Нередко

расчеты устойчивости откосов используют без достаточного учета влияния на них местных природных условий.

Геоморфологические условия фильтрации. Условия фильтрации имеют наибольшее значение в том случае, если плотина проектируется на закарстованных карбонатных породах (Куйбышевская ГЭС, Ангарский гидроузел, Каховская ГЭС, Нижне-Камская ГЭС, арочная Ингурская плотина и др.).

Изучение карста в районах гидротехнического строительства проводится с учетом следующих основных закономерностей его распространения по отношению к долинам рек.

1. В целом карстовые формы тяготеют к долинам рек, так как сюда как к местным базисам эрозии направлено движение подземных вод. Но зона интенсивного карстообразования часто захватывает породы и ниже коренного ложа долины. Известны случаи, когда карстовые формы обнаруживаются на глубине нескольких десятков метров от дна современных долин.

2. В карстующемся массиве карстовые формы располагаются этажами, что вызывается систематическим понижением местного базиса эрозии.

3. Карстовые процессы интенсивно развиваются в приповерхностной зоне земли и постепенно затухают с глубиной, что связано с ослаблением процессов выветривания и уменьшением количества трещин по мере удаления от дневной поверхности.

4. Карстовые формы многочисленны вблизи крутых склонов, т. е. там, где устанавливаются более короткие пути фильтрации и последняя ускоряется.

5. Карстовые формы часто встречаются в низовьях оврагов, где создаются благоприятные условия для прямого растворения пород, их смыва и сосредоточенного стока поверхностных вод в трещины.

6. Наименьшую закарстованность в долине реки следует ожидать на ее antecedentном участке, где продолжительность коррозийной обработки коренного ложа подрусловым потоком меньше, чем на соседних участках. По мнению Д. С. Соколова (1948), для ряда карстовых областей этот признак — один из руководящих при выборе створов плотин.

Предпосылками для слабой закарстованности пород служат водонепроницаемое покрытие, слабая раствори-

мость пород из-за содержания глинистых примесей или кремнистости, хорошие условия для поверхностного стока и транспирации.

Необходимы также сведения о возрасте и скорости развития карста, так как они дают представление о его современной активности. Молодой карст, развитый выше современного уровня коррозии, очень активен и особенно опасен в первый период заполнения водохранилища, когда через открытые трещины и воронки возможны большие утечки воды. Но в дальнейшем заиление трещин и понор может ослабить фильтрацию и сделать ее практически неопасной. Древний карст в большинстве случаев пассивен или мертв, и в районах его распространения утечка воды может начаться не в самом начале заполнения водохранилища, а через некоторое время, когда под напором воды будут размыты рыхлые отложения, заполняющие трещины и воронки. Опасность размыва и выноса в нижний бьеф * глинистого заполнителя древних карстовых пустот в известняках понто-сармата была вполне реальна в районе строительства Каховской гидроэлектростанции. Но водопроницаемость известняков была уменьшена противофильтрационной цементационной завесой на участках береговых примыканий плотины ГЭС.

Поскольку процесс растворения известняков идет очень медленно, то при решении вопроса о строительстве гидротехнического сооружения исходят из существующего объема и расположения карстовых пустот. При этом серьезное внимание должно быть обращено на возможность существования, происхождение, возраст и условия развития древнего карста под толщей рыхлых отложений. Для этого важно определить глубину распространения древнего карста, а следовательно, нужны данные о глубине заложения древних долин. Гипсометрическое положение закарстованного горизонта должно рассматриваться по отношению к высоте проектируемого подпора. Например, горизонт интенсивного закарстования в долине Ангары не спускается ниже 20 м над уровнем реки, т. е. не доходит до НПГ ** последнего варианта Бархатовской ГЭС (Н. И. Соколов, 1961).

* Нижний бьеф — часть реки ниже плотины.

** НПГ — напорный проектный горизонт.

В практике гидротехнического строительства СССР известны случаи проектирования (например, Мингечаурского гидротехнического узла) на территории развития глинистого карста. Значительные размеры поверхностного проявления карста при его недостаточной изученности ранее способствовали утверждению, что проблема Мингечаурского строительства — это проблема глинистого карста. Лишь постановка специальных геоморфологических работ позволила сделать ответственный и практически важный вывод о «покровном» характере карстовых форм (в пределах 2—3,5 м по вертикали) и незначительной опасности карста для Мингечаурского гидротехнического узла. Такой псевдокарст не мог привести к образованию прямых фильтрационных путей из верхнего бьефа в нижний через горные массивы. Впоследствии в местах примыкания сооружения был лишь снят слой, пораженный псевдокарстом.

Несмотря на большую угрозу в отношении фильтрации, знание основных закономерностей распространения карста при соответствующем размещении сооружений и способах борьбы с карстом позволяет строить в карстовых районах плотины и водохранилища без опасений больших утечек воды.

Возможна фильтрация и другими путями, например в соседнюю долину через узкий горный водораздел. Это особенно опасно, когда отметка дна соседней долины ниже отметки подпорного горизонта водохранилища и если в сторону этой долины падают пласты трещиноватых горных пород. Для равнинных рек с широкими междуречьями фильтрация практически неопасна.

Местами утечек воды могут быть также древние речные долины, участки распространения флювиогляциальных форм рельефа, крупные овраги, балки, ходы землероев и червей в сухих лёссовидных породах. В целом степень опасности фильтрации в каждом данном случае определяется не абсолютным значением утечки, а соотношением воды, фильтрующейся из водохранилища и поступающей в него. При положительном балансе утечка неопасна.

Рельеф и заиление водохранилищ. Водохранилище служит искусственным базисом эрозии для расположенного выше участка реки, ее притоков, оврагов и балок,

поэтому здесь резко падают скорости течения и обильно отлагается обломочный материал. Мелкие илистые частицы относятся рекой ближе к плотине, и в первое время они положительно сказываются на работе водохранилища, так как закупоривают трещины и поры горных пород. Но дальнейшее увеличение приноса рыхлых осадков, особенно крупнообломочных, откладывающихся в верхней части водохранилища, приводит к уменьшению его полезного объема, а иногда и к полному заносу водохранилища.

Скорость заиления водохранилища зависит от многих причин, в том числе от времени его эксплуатации, морфологии и геологического строения затопленной долины. Особенно интенсивно выносятся рыхлый материал из оврагов и притоков средней и верхней зон водохранилища в первые годы его заполнения, когда прежний рельеф долины еще не соответствует новому режиму водоема. В дальнейшем устья оврагов и притоков подпираются водами водохранилища, забиваются рыхлым материалом, и эрозия прекращается.

Очагами питания водохранилища твердыми осадками прежде всего могут быть неустойчивые участки склонов долины — места оползней и осыпей, места подмыва берегов, интенсивных солифлюкционных процессов, притоки реки и овраги с их конусами выноса. В условиях аридного климата в водоемы попадает значительное количество продуктов эоловой денудации. При этом скорость заиления водохранилища будет тем больше, чем круче продольный профиль реки, чем выше и круче склоны долины и, следовательно, активнее транспортировка с них рыхлых наносов.

По данным В. А. Ключевой (1968), в крупных водохранилищах, подобных Цимлянскому, уже через 12—14 лет после их образования происходит расширение площади аккумуляции из верхней зоны водохранилища в нижнюю, приплотинную, где мощность наносов увеличивается с 3 до 30—40 см. Но сокращение общей емкости чаши Цимлянского водохранилища скажется на энергетическом хозяйстве района примерно через 50 лет, когда ее объем уменьшится на 10—12% (С. Л. Вендров, 1966). Особенно быстро заносятся водохранилища горных рек (иногда через 6—15 лет). Большинство водохранилищ, построенных на западе США 50 лет тому на-

зад, к настоящему времени уменьшило свою полезную емкость более чем на 50%!

Водохранилища на равнинных реках в силу их значительного объема, а также пологого продольного и поперечного профиля затопленной долины заиливаются медленнее (Каховское, Куйбышевское и др.). Вопрос о заилении водохранилищ на равнинах имеет другое значение и сводится главным образом к гидрологическому изучению твердого стока самой реки. В обширных и плоских водохранилищах заиливается в основном периферическая зона за счет отложений устьев рек и делювиального материала склонов. Интенсивное заиливание периферии Куйбышевского водохранилища, особенно в устьях впадающих рек, препятствует нормальному использованию его заливов для орошения, водоснабжения, рыбного хозяйства.

При определении скорости заиливания водохранилищ необходимо также учитывать влияние на сопротивляемость движению рыхлых пород температурных условий, количества и режима выпадающих осадков, задернованности, залесенности склонов, состояния почвенного покрова и многих других природных факторов.

Затопление и подтопление земель. Рельеф определяет площадь зеркала, полезный объем водохранилища и размеры зоны подтопления. Почти при равной площади зеркала водохранилищ в СССР и США полезный объем водохранилищ в США в полтора раза больше, чем в СССР, что обусловлено положением американских водохранилищ преимущественно в горах (С. Л. Вендров, 1959). По подсчетам С. Л. Вендрова, для получения 1 м напора на ГЭС в водохранилищах, расположенных в районах с расчлененным рельефом (Мингечаурское, Иркутское, Бухтарминское, Братское, Красноярское), необходимо дополнительно затопить к площади ранее существовавших водоемов в среднем 35 км². Для равнинных водохранилищ эта цифра увеличивается в среднем до 90 км², а на Куйбышевском и Рыбинском водохранилищах — до 200—250 км².

В зависимости от условий рельефа в зону затопления водохранилищ, расположенных на равнинных реках, могут попадать огромные площади используемых земель. Например, при создании волжских водохранилищ за-

топлено около 20 тыс. км² пашен, сенокосов, выгонов, лесов и т. п.

Значительно превысят по сравнению со средними удельными показателями затопления для гидростанций РСФСР и США удельные показатели затопления по водохранилищу в низовьях р. Оби, если будет осуществлен проект строительства ГЭС в Салехардском створе. При исключительно плоском рельефе Западно-Сибирской низменности и значительном подпорном горизонте здесь будут затоплены миллионы гектаров ценных земель, в том числе 90% сельскохозяйственных угодий, сотни миллионов кубических метров древесины, крупные месторождения газа, нефти, железных руд, торфа и т. п.

На мелководьях равнинных водохранилищ СССР скапливается большой объем воды (примерно около 13% площади зеркала водохранилищ). Больше половины объема этих вод летом расходуется на испарение, а зимой — на образование льда.

При затоплении хорошо разработанных долин большие площади песчаных мелководий возникают над террасами и долинами притоков. В области ледникового рельефа обширные мелководья образуются в доледниковых низинах и котловинах. Для того чтобы сократить потери воды, не используемой для выработки электроэнергии, и предупредить чрезмерное затопление земель, при выборе НПГ необходимо учитывать геоморфологическое строение местности.

Многие гидротехники считают, что в перспективе строительство ГЭС на равнинах за отдельными исключениями не имеет преимуществ перед строительством гидроэлектростанций в предгорьях и в горах.

Затопление чаши водохранилища сопровождается подъемом уровня грунтовых вод, которое в зависимости от рельефа и состава пород может оказать положительное или отрицательное влияние на прилежащие к водохранилищу территории. При пологих и низких берегах водохранилищ подтапливаются большие площади прилежащих к ним территорий с ценными сельскохозяйственными угодьями, подвалы промышленных сооружений, погреба жилых зданий. Причем процесс подтопления в первую очередь распространяется на аллювиальные террасы и пониженные участки берега.

Под влиянием подпора вод активизируются оползневые и карстовые процессы, явления суффозии и засоления (в засушливых районах). В связи с этим важно выявить те участки, на которых по условиям рельефа подтопление территории будет незначительным или вообще невозможным. К таким участкам относятся: узкие междуречья при разных гипсометрических уровнях соседних долин; участки, прилежащие к крутым берегам водохранилищ (размеры участка будут тем меньше, чем ближе берега водохранилища); участки, прилежащие к оврагам с постоянным водотоком (отметка днища оврага должна быть равной или ниже НПГ водохранилища); участки, прилежащие к берегам водохранилищ и имеющие по своему внешнему краю карстовые воронки со стоком в сторону водохранилища.

Для решения вопроса о подтоплении берегов водохранилища геоморфологические работы обычно сосредоточивают в полосе местности с отметками, превышающими максимальную отметку уровня воды в водохранилище примерно на 10—15 м.

Переработка берегов водохранилища. После заполнения чаши водохранилища начинается процесс формирования его берегов. Из-за несоответствия форм чаши водохранилища новому режиму водных масс процесс преобразования берегов водоема в первые годы идет настолько быстро, что создается угроза уничтожения на его берегах важных хозяйственных объектов.

Существенное различие между режимом формирования рельефа чаши больших озер и крупных водохранилищ состоит в разнице сезонных амплитуд уровней заполнения чаши. Как правило, амплитуда уровней водохранилищ на равнинных реках в четыре раза превышает сезонную и годовую амплитуду уровней больших озер нашей страны. Поэтому на таких водохранилищах образуется большая площадь переменного затопления. На Куйбышевском водохранилище площадь осушки при сработке уровня воды увеличивается к концу зимы почти вдвое (общее понижение уровня воды за период сработки с августа по апрель достигает 5,5 м).

В зоне переменного смачивания на ранее увлажненных песчаных откосах при спаде воды возникают суффозионные явления и обвалы, на глинистых и мергелистых берегах — оползни и оплывины.

На непосредственные факторы переработки берега — волнение, колебание уровня воды, течения — существенное влияние оказывает геоморфологическое строение затопленной долины и берегов водохранилища, особенно ширина и глубина долины, крутизна, расчлененность и высота ее берегов. При одинаковых скоростях и продолжительности ветра большие разрушительные волны образуются в широкой и глубокой части водохранилища, там, где имеются условия для разгона волны. В суженных участках на малых глубинах энергия волны уменьшается. Все эти данные нужны для прогноза ширины и скорости зоны переработки берегов водохранилищ. Заблаговременное определение ширины зоны переработки берега позволяет определить границы той территории, которая может быть разрушена. Это необходимо для проектирования мероприятий по защите промышленных и сельскохозяйственных объектов, а также для размещения по берегам водохранилищ новых предприятий, портов и пристаней. Сроки и очередность эвакуации различных хозяйственных объектов из зоны разрушения зависят от скорости отступления берега до его проектной линии. О скорости переработки берега дают представление такие данные: за десять лет на водохранилище Днепрогэса была разрушена полоса берега от 50 до 100 км длиной в 30 км от плотины и полоса берега от 25 до 50 км в 50—60 км от плотины. Полное переформирование берегов водохранилища ожидается здесь через 50—75 лет (А. М. Безуглый, 1935). В пределах активно разрушаемых берегов Цимлянского водохранилища в течение 6 лет бровка его берега отступала в среднем по 9 м в год, а на некоторых участках — до 23—40 м в год (С. Л. Вендров, 1953). Близкие величины скорости переработки берегов наблюдаются на Камском, Горьковском и других новых крупных водоемах.

Для установления полосы отчуждения в районах городских и промышленных сооружений составляют карту зоны переработки берега водохранилища. Здесь выделяют две подзоны: интенсивного и быстрого разрушения в течение 10 лет и конечной стадии переработки, которая в ряде случаев может длиться многие десятки лет.

Существует несколько методов предсказания ширины и темпов переработки берегов водохранилищ, основанных на полевых наблюдениях, расчетах, эксперимен-

тах, графических построениях. Эти методы позволяют получить прогноз переработки прямых берегов, сложенных рыхлыми отложениями*. При этом во избежание грубых ошибок необходимо тщательно учитывать местные природные особенности. По расчетам сработка берегов Куйбышевского водохранилища должна произойти в первые десять лет. Предполагали, что за это время из сползших масс грунта сформируется пологая отмель шириной около 100—140 м от горизонта затопления. Однако образовалась узкая аккумулятивная терраса, быстро разрушающаяся при спаде воды. Так как на узкой полосе волна почти не гасится, то здесь формируются высокие обрывистые берега, переработка которых идет во много раз интенсивнее, чем это предполагалось раньше. Не были достаточно полно учтены также направление ветра и вызываемые им береговые течения. Последние размывают сползшие массы грунта, уничтожают упоры, способствуют появлению новых и новых оползней (Белый Яр, Ульяновск). Ошибка в подсчете скоростей переработки берегов Куйбышевского водохранилища объясняется механическим перенесением расчетов, полученных на малых и неглубоких водохранилищах канала им. Москвы, на крупное и глубокое водохранилище.

Геоморфологические наблюдения после заполнения водохранилища в основном носят стационарный характер. Они проводятся с целью изучения размеров и темпов береговых процессов (фиксируется разрушение берегов в штормы и паводки, проводится повторная нивелировка разрушаемых берегов, изучается режим пляжа и т. п.). Работы по прогнозу развития берегов проводятся при участии геоморфологов на многих вновь создаваемых водохранилищах.

ОЦЕНКА РЕЛЬЕФА В ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛЯХ

Выбор территории для нового строительства, а также расширение и реконструкция существующего проводятся на основе схем районной планировки. Районная планировка помогает установить, где и как наиболее ра-

* Расчеты переработки берегов водохранилища приводятся в работах Н. Е. Кондратьева, Б. А. Ширямова, Г. С. Золотарева, Е. Г. Качугина, Б. А. Пышкина и др.

ционально расположить на территории предполагаемого строительства комплекс разнообразных объектов — промышленных предприятий, городов и поселков, сеть дорог и коммуникаций, зон отдыха, селитебных территорий (сельскохозяйственных пригородных зон).

Районная планировка — это первая стадия проектирования, поэтому предполагает оценку рельефа в составе комплексных физико- и экономико-географических исследований. На последующих стадиях проектирования — генерального плана, детальной планировки, проектов отдельных сооружений, когда определяются положение элементов комплекса сооружений и устанавливаются технические детали их возведения, рельеф изучается в процессе инженерно-геологических изысканий.

Различают планировки городов промышленных и сельскохозяйственных районов, санаторно-курортных районов и зон массового отдыха. Вид планировки определяет подход к оценке природных факторов. Так, при планировке районов добывающей промышленности приходится учитывать распространение и состояние разведанных запасов полезных ископаемых, размещение горных выработок, ограничивающих возможность застройки отдельных участков из-за обрушения или оседания поверхности, и т. п. В зоне строительства гидроэлектростанций предусматривают возможность затопления и подтопления, особенно на равнинах. При планировке сельскохозяйственных районов изучают природные условия с точки зрения размещения сельскохозяйственных угодий и предприятий, поселков, источников водоснабжения и т. п. Одна из важнейших задач планировки курортных районов — охрана и обогащение природы района, общая и санитарная мелиорация территории и т. п.

Рельеф относится к числу природных факторов, сильно влияющих на решение планировочных задач: выбор системы размещения различных хозяйственных объектов, объем работ по вертикальной планировке, условия заложения фундаментов, устойчивость территории. С этими целями изучают общий план и формы рельефа, особенно части долин, междуречий, интенсивно преобразуемые в процессе строительства, общие и частные уклоны поверхности, ее расчлененность, физико-географические процессы.

Выбор места и планировка города. На стадии районной планировки выбирают место города и размещают его составные части — жилые кварталы, промышленный центр, сельскохозяйственную зону и т. п.

Природные, в том числе орографические факторы, определяют типичные формы городского расселения. Одиночные города характерны для слабо освоенных лесистых заболоченных пространств (промышленные города — узлы Белоруссии), пустынных пространств Туркмении, где города тяготеют к водным источникам. Парные города возникают одновременно у мест добычи полезных ископаемых (промышленный узел) и у водных объектов (жилой поселок). Линейный тип городских поселений характерен для берегов морей (черноморские курорты), долин рек (волжские города), окраин площадей месторождений полезных ископаемых (г. Прокопьевск). На холмистых равнинах, островах, у малобитных водных источников и многочисленных выходов полезных ископаемых формируются скопления или «созвездия» городов и поселков (Донбасс, нефтеносные острова района Баку).

В общей планировке города рельеф учитывается при проектировании улиц и кварталов, положении зон этажности, выборе габаритов зданий. При этом вначале оценивается общий характер рельефа — его крупные черты: абсолютные и относительные высоты, общий уклон, расчлененность гидрографической сетью, а потом отдельные формы и элементы рельефа.

На первом этапе работ находят решения, наиболее полно учитывающие существующую природную обстановку. Такой метод свободной застройки предусматривает максимальное сохранение естественного ландшафта — возвышенностей, долин рек, озер, лесов. В условиях пересеченного рельефа у многих городов и поселков уже нет привычной планировки и длинных прямых улиц. В зависимости от рисунка рельефа дома объединяются в группы и создается жилой комплекс. Часто дома располагают под углом к проспектам, что улучшает естественное освещение всех комнат и защищает от ветра.

В практике строительства городов в Скандинавии широко используется метод ландшафтного проектирования, основанный на учете природных условий. В Швеции, Норвегии, Финляндии приходится строить в суро-

вом климате, на пересеченном рельефе, скалах, залесенных, каменистых или заболоченных грунтах. Значительная горизонтальная расчлененность рельефа определила характерный для Скандинавии островной тип застройки с 10—15-этажными зданиями-башнями на островах и невысокими зданиями-террасами по крутым скалистым уступам (рис. 18). В новых пригородах Стокгольма и Хельсинки дома строят на живописных

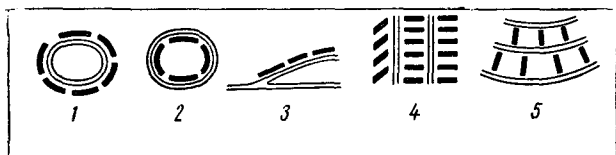


Рис. 18. Типы планов жилых застроек с учетом рельефа (скандинавские страны):

1 — ленточный тип вокруг водоемов, 2 — точечный (башенный) тип на островах, 3 — цепочка вдоль обрывистых берегов, 4 — строчечный тип на равнинах, 5 — поперечно-ступенчатый тип на террасах

холмах, между группами высоких сосен, озер и гранитных скал. Удачно используются днища бывших озерных котловин под стадионы, парки, площадки для игр. Расчленение рельефа определяет здесь петельное расположение улиц, коммуникаций и дорожной сети, причем на нескольких высотных уровнях.

Шире стали использоваться местные особенности рельефа при строительстве городов-спутников и в нашей стране, где, как и во многих других странах, определилась тенденция к ограничению роста крупнейших старых городских центров. Развитие городов-спутников определяется главным образом экономическими, политическими факторами, но расчлененность рельефа, изрезанность сетью речных долин и морских проливов создает разбросанность, разобщенность и ограниченность участков, пригодных для строительства. Следовательно, рельеф также способствует усиленному росту городов-спутников, примером чему может служить г. Пермь, расположенный по обоим берегам Камы, Чусовой и других мелких рек. Отдельные предприятия города возникали на междуречьях, что привело к формированию здесь городов-спутников.

При сложном рельефе территории строительства возникает необходимость в его вертикальной планировке, или «организации рельефа», — подсыпках, срезках грунта, существенно меняющих первоначальный рельеф. Вертикальная планировка имеет своей задачей изменение рельефа для достижения нужного для движения транспорта продольного профиля улиц и проездов, облегчения отвода поверхностных вод, прокладки подземных санитарных и технических сетей без излишнего их заглубления, удобного и выигрышного положения зданий (Н. Х. Поляков, 1965).

По степени преобразования рельефа различают два основных вида вертикальных планировок территории: со сплошным и частичным преобразованием естественно-го рельефа. Сплошное выравнивание местности обычно применяют при застройке всхолмленных территорий. В этом случае при уклонах рельефа до 7% объем земляных работ колеблется примерно от 2000 до 5000 м³/га. Частичное выравнивание рельефа проводят на равнинах, где объем земляных работ уменьшается до 2000 м³/га. Эти расчеты, проведенные в Центральном научно-исследовательском и проектно-м институте градостроительства (А. Н. Черемисова, 1968), показывают, что при вертикальных планировках рельефа объем земляных работ увеличивается на сравнительно небольшую величину при уклонах рельефа более 0,5% и резко возрастает с уменьшением уклона от 0,5%. Последнее объясняется необходимостью строительства инженерных сооружений для стока ливневых вод. При частичном выравнивании рельефа, т. е. только на строительных площадках, затраты на вертикальную планировку по сравнению со стоимостью зданий составляют менее 1%.

Для планировки квартала города наиболее удобен такой рельеф, при котором центр квартала возвышается над улицами. Такое гипсометрическое соотношение прежде всего обеспечивает нормальный сток дождевых и талых вод. Таким образом, вся территория города в идеальном случае должна состоять из ряда плоских холмов. От их относительных превышений зависят размеры кварталов. При площади квартала в 3 га относительное колебание высот должно быть не меньше 0,4 м и не более 6,8 м (Ю. Г. Симонов, 1954).

Характер рельефа определяет направление и очертание сети улиц, их продольный профиль, условия водоотвода и движения транспорта. Минимальным уклоном для всех улиц считается 0,5%, максимальным для магистральных — 6% и для жилых — 8%. Расстояния между переломами уклонов для равнинного рельефа принимаются не менее 100—150 м.

При определении условий водоснабжения города и промышленных предприятий рельеф оценивается с точки зрения выбора места для водоприемных сооружений, водонапорных станций, водопроводной сети. При проектировании водоприемников изучается комплекс вопросов, связанных с эрозионно-аккумулятивными процессами в русле реки в случае расположения водозабора у реки и с процессами формирования берега и движением берегового потока наносов в случае выбора места для озерного водоприемника. Для расположения водозабора неблагоприятны участки с интенсивно развитыми аккумулятивными русловыми формами, а также участки, расположенные на пути движения наносов от устьев и размываемых берегов.

Для строительства водонапорных башен выбирают возвышенные участки рельефа, например водоразделы. По ним прокладывают магистральные водопроводы. Неблагоприятны территории с разностью высот более чем в 50—60 м, так как это удорожает строительство и эксплуатацию водопровода. Вместе с тем для урегулирования поверхностного стока, спуска ливневых вод и устройства канализации неудобен плоский, а также котловинный рельеф, затрудняющий сток. Чаще всего канализационная сеть приурочивается к таким участкам рельефа, которые обеспечивают быстрый отвод воды, в частности к тальвегам. Оптимальные условия создает рельеф с уклонами не менее 0,5—1,0% и не более 5%.

Понижениям рельефа и пологим склонам обычно соответствуют зоны многоэтажной застройки.

Оценка рельефа строительных площадок. При выборе строительных площадок прежде всего обращают внимание на их размеры, развитие физико-географических процессов и расчлененность. Строительное использование площади ограничивают активно действующие карстовые, оползневые и просадочные процессы. Они требуют к себе особого внимания, потому что нередко после со-

оружения здания становятся очень интенсивными из-за дополнительной нагрузки и нарушения режима грунтовых вод.

По степени активности физико-географических процессов различают простые и сложные строительные площадки. В пределах простых площадок нет активно действующих процессов и поэтому здесь не нужна специальная инженерная подготовка территории строительства. Например, неопасными можно считать площадки, в районе которых известны карстовые полости более чем на 100—150 м ниже кровли карстующихся известняков, доломитов, гипсов, ангидритов, или соответствующие формы рельефа, свидетельствующие об окончании просадок в лёссах (грунты с пористостью 42—44%, мощность просадочных грунтов до 5 м).

На сложных площадках природные процессы протекают активно и создается общая угроза их устойчивости. Так, в большинстве случаев непригодны для строительства площадки с провальным происхождением карстовых воронок и зоной горизонтальной циркуляции вод на глубине 50—100 м, осложнено строительство на водоразделах с лёссами мощностью более 8—10 м и пористостью их 48—52%. В этих случаях необходимы специальные, иногда дорогостоящие мероприятия по усилению устойчивости территории и укреплению основания сооружений.

Во всех случаях при возведении на строительной площадке отдельных зданий учитывается ее уклон. Рассчитывая допустимые уклоны для капитальной застройки, В. Г. Давидович (1964) исходит из того, что поверхность пола может быть приближена к поверхности земли на высоту минимум 0,5 м и приподнята над поверхностью земли на высоту максимум 1,5 м. Тогда наибольший допустимый для застройки уклон составит

$$i_{\text{макс}} = \frac{b_{\text{макс}} - b_{\text{мин}}}{l} \cdot 100\%,$$

где l — длина всего здания или отдельной секции ступенчатого здания при расположении здания перпендикулярно к горизонталям;

b — ширина здания при расположении его параллельно горизонталям.

Характер этой зависимости виден на рис. 19.

При расположении здания перпендикулярно к гори-

зонталям величина i_{\max} связана с длиной корпуса. Например, при длине корпуса 50 м

$$i_{\max} = \frac{1,5 - 0,5}{50} \cdot 100 = 2\%$$

Таким образом, при таком положении здания даже сравнительно небольшой уклон ограничивает длину здания и удорожает его строительство. Во избежание увеличения стоимости цоколя при уклонах свыше 5% целесообразнее располагать здания параллельно горизонталям.

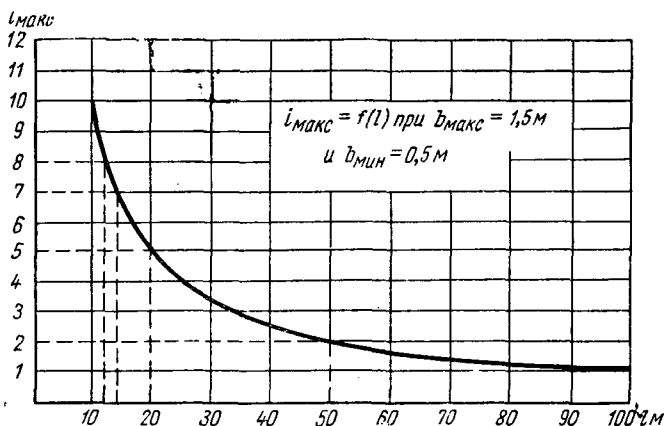


Рис. 19. Допустимые уклоны для застройки (по В. Г. Давидович, 1964)

Величину $i_{\max} = 8\%$ В. Г. Давидович (1964) считает максимально допустимой для крупной капитальной застройки (табл. 8).

Существенные отклонения от планировочных норм вызывает овражное расчленение строительной площадки. Специальные исследования, проведенные Инженерной академией им. Куйбышева (Г. М. Барсуков, 1964), показали, что в большинстве городов СССР оврагами и балками занято 10—20% от застроенной части города. Причина появления оврагов на городских территориях — незарегулированность поверхностного стока, а также неорганизованный сброс хозяйственных и промышленных вод. С целью рационального использования оврагов в

**Сравнительная оценка условий рельефа (уклонов)
для многоэтажной застройки (по В. Г. Давидовичу, 1964)**

Уклон, %	Условия застройки
До 2	Наилучшие условия: застройку можно располагать в любых направлениях
От 2 до 5	При расположении застройки поперек горизонталей приходится несколько ограничивать длину зданий или строить их с небольшими уступами. Расположение параллельно горизонталям не встречает затруднений
От 5 до 8	Расположение застройки перпендикулярно к горизонталям затруднительно. Целесообразнее подчинять план застройки рельефу, размещая здания параллельно горизонталям
Свыше 8	Затруднительно расположение застройки даже параллельно горизонталям. В большинстве случаев лучше отказаться от освоения этих участков крупной капитальной застройкой

Таблица 9

**Градации размеров оврагов для градостроительных целей
(по данным Г. М. Барсукова, 1964)**

Размеры оврагов	Длина, м	Ширина, м	Глубина, м
Мелкие	10—300	5—50	0,5—15
Средние	300—2000	50—100	10—30
Крупные	более 2000	100—500	15—30 и более

градостроительных целях они были классифицированы на мелкие, средние и крупные (табл. 9).

Согласно этой классификации, действующие овраги всех размеров имеют V-образный поперечный профиль и уклоны склонов в 50—70°, а затухающие корытообразные овраги — уклоны склонов до 20°.

В зависимости от размеров оврагов и их местоположения в плане города комплекс мероприятий по их инженерной подготовке состоит из ликвидации (мелкие и средние овраги), ограничения стока в бассейне оврага (средние и крупные), благоустройства склонов и подсыпки дна оврагов (крупные).

Морфология оврага влияет на размеры потерь городской территории, которые могут быть вычислены по формуле (Г. М. Барсуков, 1964)

$$X = 2H(\operatorname{ctg} \alpha_1 - \operatorname{ctg} \alpha_2) + B_0,$$

где X — величина потери территории, m^2 ;

H — глубина оврага, m ;

α_1 — угол естественного откоса, $град$;

α_2 — угол реконструируемого откоса, $град$;

B_0 — ширина оврагов, m .

Величина затрат на 1 га осваиваемой под строительство овражной территории зависит от густоты и глубины оврагов и колеблется примерно от 2 до 200 тыс. руб.

При подготовке осваиваемого жилого массива площадью 100 га, изрезанного оврагами (коэффициент овражности 0,1—0,3), установлено относительное удорожание 1 m^2 жилой застройки при строительстве двух- и пятиэтажных домов по сравнению с девятиэтажными в 1,5—2 раза.

Овраги могут быть использованы под застройку домами, подземными гаражами и хранилищами, под скверы, улицы, водостоки, водоемы. Вне городской застройки средние и крупные овраги, включаемые в парковую зону, пригодны под водоемы, сады, питомники и т. п. Под жилые дома овраги застраиваются или при их полной ликвидации, или на склонах террасируемых балок с уклонами до 40—50°.

Сложные условия для строительства создаются в горах, где приходится застраивать крутые и очень крутые неустойчивые склоны. При уклонах более чем 6% нецелесообразна прямоугольная сетка улиц, а при уклонах более 10% затруднено проектирование магистралей. Улицы часто прокладывают по тальвегам, застраивая террасы склонов. При строительстве на склонах предпочтительнее односторонняя застройка улиц при параллельном по отношению к ним положении зданий. Местность с уклонами свыше 20% для застройки непригодна.

Градостроительная оценка рельефа должна проводиться с учетом влияния его на местные природные условия, особенно на метеорологические факторы — направление и скорость ветра, температуру и влажность воздуха и почв, инсоляцию и естественную освещенность. Именно эти факторы прежде всего учитываются при оценке так называемых зон комфортности жилья. Например, на стадии районной планировки, когда выбираются участки для жилой застройки и сооружения промышленных предприятий, необходимо учитывать влияние рельефа на распространение вредных газов и дымов. Газы более тяжелые, чем воздух, стекают по понижениям рельефа во впадины, поднимаются по тальвегам. Возвышенности, так же как и лесные массивы, отклоняют потоки газов в ближайшие ложины. Местное влияние рельефа на направление и скорость ветра (влияние высокого берега реки, отдельной возвышенности) сказывается на расстоянии нескольких километров.

Особенно важен для градостроительных целей учет зонального влияния рельефа в условиях крайнего значения температур и влаги, т. е. в зонах многолетней мерзлоты и аридной.

Одно из главных затруднений при строительстве в зоне многолетней мерзлоты — невозможность стандартизации заложения фундаментов из-за неоднородности мерзлых грунтов и их свойств в разных условиях рельефа, увлажнения, растительного и почвенного покрова. Советскими мерзлотооведами установлена связь между составом, строением и свойствами мерзлых, протаивающих и промерзающих грунтов и криогенными формами рельефа. Это позволяет определять по особенностям микро- и мезорельефа опасные для устойчивости сооружений мерзлотные процессы. Например, показателем опасных для жилых и промышленных зданий жильных льдов в мерзлых грунтах могут служить полигональные формы с валиками или канавками между ними, земляные конусы — байджерахи, клумбовидные холмики на склонах останцов древней аллювиальной равнины. Участки с пятнистой тундрой соответствуют в Воркутинском районе наиболее льдистым и низкотемпературным грунтам, а под участками с мелкобугристой тундрой распространены менее льдистые грунты с температурой около $0,2—0,5^{\circ}$.

В целом в областях развития устойчиво-мерзлых грунтов, где мероприятия по защите жилых и промышленных зданий от деформаций направлены на сохранение многолетней мерзлоты, наиболее благоприятны при прочих равных условиях глубже промерзающие грунты возвышенных участков рельефа. В районах с деградирующей мерзлотой, где меры по борьбе с нею направлены на скорейшее протаивание грунта, более благоприятны долины рек, хотя, как правило, пониженные и увлажненные участки рельефа несут более льдистые грунты. Опасно строительство на склонах долин и их бровках, подмываемых рекой или озером. Здесь очень интенсивны процессы оползания и скольжения сезоннопротаивающих грунтов, а также термокарстовые просадки. После застройки такого склона мощность сезоннопротаивающего слоя нередко увеличивается до 20—25%, и он теряет несущую способность.

В пустыне значительно проще строить в долинах рек, где более влажно, ниже температура воздуха и слабее ветры.

По комплексу природных факторов в северных зонах целесообразнее уплотненная застройка, а в южных — разуплотненная. Наиболее эффективные меры борьбы с деформацией зданий в зоне многолетней мерзлоты и с песчаными запосами в пустыне — строительство на свайных основаниях.

Изучение рельефа в градостроительных целях предусматривает также прогноз возможных изменений природных процессов и рельефа под влиянием сооружений в период их эксплуатации. Крупный город, его промышленные предприятия и коммуникации, вписываясь в окружающий ландшафт, всегда его изменяют. В районе большого города запылен воздух и выше, чем в открытой местности, температура (за исключением городов в пустыне). Здесь выпадает несколько больше осадков, существенно изменен почвенный и растительный покров. В пределах городской застройки рельеф неодинаково реагирует на появление нагрузок и давление, изменение характера поверхностного и грунтового увлажнения. Под влиянием понижения уровня артезианских и безнапорных вод, строительства метрополитена оседают территории таких крупных городов, как Москва, Ленинград, Киев и, наоборот, некоторые их участки повышаются за счет на-

коплений культурного слоя и создания искусственных форм рельефа (Ф. В. Котлов, 1961, 1963 и др.). Амплитуда изменений рельефа составляет 0,5—150 м. Слабо изменяются под нагрузкой отрицательные формы рельефа — долины рек и оврагов, котловины озер и т. п. Но непрерывное многолетнее оседание испытывают доледниковые долины на участках их совпадения с современной долинной сетью. Мало меняются сейчас и пологие водоразделы, высокие террасы на новых городских окраинах.

Антропогенные изменения рельефа оказывают влияние на микроклимат города, поверхностный и подземный сток, почвообразовательные процессы, развитие оврагов, оплывин, оползней. Эти процессы имеют инженерно-геологическое значение, и их необходимо учитывать при составлении схем районных планировок, строительстве города и эксплуатации его сооружений.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ НУЖД СУДОХОДСТВА, ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ, ПОРТОВ И ДРУГИХ СООРУЖЕНИЙ

Круг геоморфологических исследований, необходимых для решения задач речного судоходства, очень широк, но в последние годы более четко определились направления, связанные с обоснованием проектов улучшения судоходных условий рек и выбором мест для речных портов.

Выбор места речного порта зависит от положения и размеров фарватера реки, рельефа и геологического строения берега и многих гидрологических факторов — колебания уровня вод, движения наносов, характера ледохода и т. п. Для строительства порта удобны крутые уступы террас с глубоким и достаточно широким для оборота судна фарватером, заливы и протоки. Как при выборе порта, так и улучшении судоходных условий рек основное внимание исследователя сосредоточивается на оценке вариантов трассы фарватера и прогнозе русловых деформаций.

Увеличение средней глубины по фарватеру и его относительная стабильность достигаются созданием прорезей — глубоких траншей вдоль высоких берегов, сужением меженного русла и перекрытием рукавов. При

такой системе улучшения судоходных условий большое значение приобретают исследования, направленные на выяснение причин неустойчивости русла (сезонная неравномерность стока, ледоход с заторами, разрушительное действие волн), причин и степени размываемости берегов, развития оползневых процессов. Большое внимание уделяется процессам образования и режиму перекатов, изучение которых уточняет прогноз русловых деформаций.

При проектировании трубопроводов разного назначения рельеф и природные процессы определяют наземный или подземный способ укладки, кривизну трубопровода, глубину его заложения или высоту над поверхностью земли. В условиях вечной мерзлоты подземная прокладка трубопроводов допустима лишь в сухих мерзлых грунтах без включения льда и не рекомендуется в пучинистых и льдонасыщенных грунтах (10—15%), дающих осадку. Надземная укладка применяется при пересечении оврагов, болот, русел рек. При подземной прокладке трубопроводов учитывается также возможность обнажения их процессами абразии, эрозии, дефляции. Интенсивность этих процессов и возможность появления новых, связанных с нарушением грунта и растительного покрова вдоль трассы, определяют глубину закладки трубопровода и необходимость планировки местности при подготовке трассы.

Особенно сложные условия при прокладке трубопроводов, а также линий высоковольтных передач (ЛЭП) создаются при переходе через большие реки, когда возникает необходимость в размещении опор ЛЭП на участках устойчивых берегов при наименьшей возможной длине перехода. При заглублении траншей подводного перехода во избежание размывов и обнажения трубопровода проводят исследования плановой и высотной деформации русел. При этом учитываются тенденции развития долины реки, продольного и поперечного профиля реки, тип руслового процесса на участке перехода. В мелководной зоне моря трубопроводы прокладываются на глубинах 30—40 м, а при переходе через реки — на глубинах больших, чем наибольшая глубина плеса выше перехода.

Так как в ближайшие годы на крупных реках СССР должно быть сооружено несколько тысяч переходов тру-

бопроводов, то исследования деформаций русла реки как наиболее частой причины аварий трубопроводов на переходах через реки приобретают важное значение. При этом будет широко использован гидролого-геоморфологический метод исследования.

В самостоятельную отрасль знания со своими специфическими методами и приемами исследований оформилась инженерная морская геоморфология. Особенно успешно изучается рельеф и динамика морских берегов в связи с проектированием портов и других сооружений в море. Наиболее ответственная часть изысканий состоит в выборе места для порта и оценке в связи с этим рельефа и процессов, действующих на побережье и в море. Особое внимание уделяется абразии и аккумуляции, движению вдоль берега потоков наносов, которые могут заносить порт, выявлению участков дна, исключаящих опрокидывание и сдвиги сооружений под воздействием ударов волн и выпирания грунта. Так как при изменении естественного режима побережья искусственными сооружениями процессы размыва и аккумуляции протекают с большой скоростью и со временем могут изменить те условия, применительно к которым проектировался и строился порт, то большое значение приобретает здесь научный прогноз.

В перспективе круг вопросов и методов инженерно-геоморфологических исследований будет расширяться. Так же, как и при поисках полезных ископаемых, здесь усиливается тенденция к применению методов, основанных на сопряженном анализе рельефа с одним из компонентов природной среды.

ИЗУЧЕНИЕ РЕЛЬЕФА С СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМИ ЦЕЛЯМИ

В отличие от инженерных изысканий, где практическая интерпретация геоморфологических данных постоянно увязывается с геологическим строением территории, изучение рельефа для сельскохозяйственных целей обязательно сопровождается анализом климатических условий, почв, растительности, горных пород и других элементов ландшафта.

Рельеф оказывает прямое и косвенное влияние на сельскохозяйственное производство. В прямой зависимости от рельефа находится пахотоспособность земель, использование сельскохозяйственных машин, способы и условия обводнения, орошения и осушения земель. При этом изучаются частные факторы: уклоны, вертикальная и горизонтальная расчлененность рельефа, длина и экспозиция склонов, микрорельеф. Даже в тех случаях, когда эти факторы не имеют решающего экологического значения, они сказываются на возможностях возделывания культур и влияют на издержки производства. Не менее значительно косвенное влияние рельефа как фактора изменения местного климата, радиационного и теплового баланса, освещенности и влажности. Понижая или повышая на склонах, вершинах, в долинах и котловинах количество тепла и влаги, особенно в условиях крайних их значений (пустыня, тундра), рельеф способен создавать на отдельных участках более благоприятные условия для развития растений по сравнению с другими частями той же зоны. Однако при этом необходимо учитывать,

что в разных географических зонах, по-разному обеспеченных теплом и влагой, значение одних и тех же форм рельефа изменяется в зависимости от возделываемой культуры, агротехники и селекции.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В исследованиях сельскохозяйственного назначения используются географо-геоморфологические и морфометрические методы.

Географо-геоморфологические методы, основанные на изучении связей рельефа с природной средой, применяются как при решении частных, так и общих задач сельскохозяйственного производства.

Один из приемов географо-геоморфологического анализа основан на изучении соответствий между геолого-геоморфологическим строением местности как наиболее консервативным компонентом ландшафта и почвенно-растительным покровом — неустойчивым, подвижным элементом природной среды. Так как современная структура ландшафта чаще всего соответствует определенным типам и формам рельефа, то, установив последовательность и основные этапы в развитии рельефа, можно определить на местности консервативные, реликтовые и агрессивные элементы ландшафта. Такой прием исследования может быть использован для определения тенденций развития пастбищных территорий, причин местных колебаний их продуктивности и других вопросов. На равнинах Подмосковья консервативными элементами рельефа и ландшафта являются моренные гряды с преобладающими на них лесами. К числу реликтовых элементов относятся заболоченные озерные котловины с еще сохранившимися чертами типичного моренного ландшафта. Овраги и залуженные балки, расчленяющие моренные гряды и холмистую равнину и дренирующие заболоченные котловины, представляют хотя и второстепенные, но агрессивные формы рельефа.

В Подмосковье консервативные элементы ландшафта чаще используются под посеvy зерновых культур, реликтовые — под сенокосы и пастбища. По условиям рельефа в последнем случае часто необходимы мелиоративные работы. Появление агрессивных овражно-балоч-

ных форм вызывает глубокий естественный дренаж моренно-западного рельефа, поэтому здесь нередко возникает необходимость в создании искусственных водоемов для полива огородных культур и водопоя скота. С этими целями обычно используются четковидные расширения балок на месте бывших межморенных западин.

Другой прием географо-геоморфологического анализа — изучение связей между рельефом и климатом. Он основан на анализе таких зависимостей между климатом и рельефом, которые помогают отличать зональные природные явления от региональных, вызываемых особенностями рельефа. Известно, например, что даже невысокие горы способствуют на равнине увеличению количества осадков. Но это не служит проявлением климатической зональности. Соответственно с этим и даются рекомендации по территориально-зональному размещению систем хозяйства. Приведем пример.

В структуре ландшафтов северных Кызылкумов заметные изменения наблюдаются в районе гор Тамдытау (абс. высота 888 м). Здесь появляется не свойственная южным районам пустыни солонцеватость светлых серо-бурых почв и связанные с нею ассоциации терескена (*Eurotia ceratoides*). Вместе с тем сюда проникают характерные центральноказахстанские виды растений — *Artemisia terrae albae*, *Anabasis salsa*, *Salsola laricifolia*, *Nanophyton erinaceum*, *Kochia prostrata*.

Увеличение количества осадков создает впечатление, что к югу от Тамдытау проходит граница ландшафтных округов северных и центральных Кызылкумов. Однако более тщательное изучение причин появления в горах признаков полупустынных ландшафтов показало, что они определяются не широтной климатической зональностью, а особенностями рельефа — существованием в горах древних поверхностей выравнивания. При некотором увеличении количества осадков на плоской поверхности пепелена создаются условия, благоприятные для промыва почв и формирования их солонцеватых разностей. Устойчивые зональные черты ландшафтов северных пустынь появляются лишь к северу от Тамдытау, где серая полынь составляет основной фон не только в горах, но и на всех других типах рельефа, даже грядовых песках. Именно к северу от Тамдытау крупногрядовые пески с полынно-саксаулово-осоковыми ассоциациями образуют те

консервативные урочища-доминанты, которые наиболее полно соответствуют современным климатическим условиям данной территории. Эти урочища-доминанты фиксируют не только смену географических зон, но и смену кормовых достоинств пастбищ. Они свидетельствуют также о невозможности получения даже на плоских поверхностях выравнивания Тамдытау устойчивых гарантированных урожаев богарных культур.

Морфометрический метод используется для получения данных главным образом о длинах, формах, углах склонов при проектировании лесных полос, малых сельских ГЭС, оросительных каналов, защитных мер против неблагоприятных природных процессов. Все чаще морфометрические исследования сочетаются с кинематическими и математическими приемами изучения скорости роста оврагов, эрозии почв, дефляции и т. п.

Содержание геоморфологических исследований в работах сельскохозяйственного назначения определяется природными условиями территории, масштабом работ и их практической задачей.

При географических исследованиях для составления перспективных планов развития сельского хозяйства обширных территорий геоморфологические работы приобретают характер оценок условий сельскохозяйственного производства с точки зрения возможного и рационального использования земель. Для этих целей проводится мелкомасштабное геоморфологическое районирование с учетом факторов, влияющих на выбор и соотношение отраслей хозяйства и культур. При этом физико-географу и геоморфологу почти всегда приходится иметь дело с оценкой абсолютных высот территории, степенью вертикального и горизонтального расчленения рельефа, конфигурацией гидрографической сети, а также факторами, вызывающими эрозию, дефляцию, заболачивание, засоление, и другими процессами. Геоморфологические исследования составляют здесь часть работ по качественной оценке земель.

Для организации территории и планирования более частных сельскохозяйственных мероприятий на территории колхозов и совхозов, например мелиораций, размещения угодий, выбора агротехники и механизации, проводятся крупномасштабные географические исследования. Такого рода работы требуют как качественных, так

и количественных оценок природных явлений. При этом внимание геоморфолога сосредоточивается на научно-исследовательской и методической стороне вопроса, например выявлении роли местного рельефа как фактора регулятора тепла и влаги, изучении геоморфологических факторов, вызывающих эрозию почв, учете рельефа при определении полей севооборота и влияния его микроформ на урожайность сельскохозяйственных культур и т. п. Методическая часть работы состоит главным образом в разработке инструкций по изучению рельефа и ключевых участков для специалистов сельского хозяйства и физико-географов.

Наиболее полное и эффективное использование геоморфологических исследований возможно в работах по качественной оценке земель.

КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЗЕМЕЛЬ

Известно, что в земледелии равный труд одинаковой степени квалификации и технической оснащенности часто дает различные результаты. Эти различия объясняются неодинаковыми естественными свойствами земли. Поэтому одна из важнейших задач — выделение типов земель, относительно равноценных по их хозяйственному использованию. Работы такого рода называют качественной оценкой земель, которая учитывает все те природные факторы, которые оказывают существенное влияние на сельскохозяйственное производство, — рельеф, почвы, воды, растительность, климатические и погодные условия. Рельеф оценивается с точки зрения эффективности размещения сельскохозяйственных угодий и работы сельскохозяйственных машин, его влияния на развитие природных процессов сельскохозяйственного значения.

Прежде всего учету и оценке подлежат высота и глубина расчленения местности. Высота влияет на определение отрасли хозяйства, а глубина расчленения — на степень неоднородности агропроизводственных свойств земли.

Показателем глубины расчленения может служить относительное превышение водораздела над урезом реки или озера, определяемое по элементарным бассейнам. При учете относительной высоты глубина расчленения

рельефа косвенно влияет также на культурную и естественную пастбищную растительность. В котловинах, долинах рек нередко возникают морозоопасные «окна холода», где безморозный период по сравнению с прилежащими холмами сокращен на 30 и даже 45—50 дней. Для перекрытия влияния рельефа нужна разность высот в 400—500 м при нормальной величине высотного градиента для безморозного периода в 6—7 дней (И. А. Гольдберг, 1962).

Густота расчленения оказывает прямое влияние на дробность земель, производительность труда, возможность применения механизированной обработки земель и в итоге — на себестоимость продукции. Степень горизонтального расчленения местности определяет также средний размер полей и густоту сети защитных лесных насаждений. Влияние горизонтальной расчлененности рельефа на средний размер поля можно выразить через эффективность работы трактора. Опыты Всесоюзного научно-исследовательского института экономики сельского хозяйства (1959) показали, что при увеличении длины участка с 200 м до 2000 м прямые издержки на 1 га тракторной пахоты уменьшаются более чем в 1,5 раза. В условиях орошаемой зоны Средней Азии для механизированной обработки земель наиболее оптимальным размером нерасчлененного участка считается территория 40—60 га для хлопчатника и 80—100 га для зерновых культур.

Для определения густоты расчленения рельефа на ключевом участке (бассейн, район, квадрат) можно взять показатель средней ширины водосборного бассейна или среднее расстояние между двумя соседними понижениями или повышениями рельефа, например протяжением не менее 1 км и глубиной вреза или подъема не менее 5 м*. Для районов с преобладанием линейного расчленения среднее расстояние между двумя соседними тальвегами (a) определяется (в км)

$$a = \frac{P}{L},$$

* Морфометрические характеристики рельефа можно получать различными способами. В данном случае использованы рекомендации Е. М. Николаевской «Методические указания по проектированию и составлению комплексных научно-справочных атласов», вып. 4 Морфометрические карты. М., Изд-во МГУ, 1966.

где P — площадь ключевого участка, км²;

L — общая длина тальвегов в пределах площади P , км.

Для районов с преобладанием пятнистого расчленения (западины, бугры и т. п.) среднее расстояние между центрами соседних форм рельефа (a) определяется

$$a = \sqrt{\frac{P}{K}},$$

где P — площадь ключевого участка, км²;

K — общее число измеряемых форм рельефа в пределах площади P .

При этом целесообразно районировать территорию по степени густоты расчленения рельефа, оценивая его с помощью условнобалльной шкалы.

Вместе с оценкой густоты расчленения рельефа нужно дать характеристику конфигурации гидрографической сети, с которой связано расположение населенных пунктов и дорог, естественных пастбищ и гидротехнических сооружений.

Оценка склонов. Склоны изучают по тем показателям, которые оказывают наибольшее влияние на процессы роста растений, качество и количество урожая (углы и длина склона, форма, экспозиция и т. п.). От уклонов рельефа зависят характер водного режима почв, условия работы и производительность сельскохозяйственных машин. Но важнее всего роль уклона как фактора размыва и смыва почвы. При увеличении уклона в 4 раза скорость стекающей воды увеличивается в 2 раза. При удвоении же скорости объем (вес) частиц, которые могут быть перенесены, увеличится примерно в 64 раза, так как он изменяется пропорционально шестой степени скорости (закон Эри). Отсюда ясно, что на территориях с большими уклонами увеличивается интенсивность эрозионных процессов.

Предпосылки для заметного смыва почвы создаются уже при уклонах в 2—3°, а территории с такими уклонами занимают около трети посевной площади СССР. При таких уклонах заметно увеличивается смыв почв, уменьшается влажность, запаздывает прохождение фаз развития растений. Но особенно смыв увеличивается начи-

ная с 3—4° крутизны. Распашка склонов в 8—10° обычно уже нецелесообразна из-за сильной смывости почв.

В настоящее время еще нет единой и достаточно обоснованной классификации рельефа по величине уклонов и степени смывости почв. В табл. 10 дается характеристика склонов по их крутизне и степени смывости почв.

Таблица 10

Характеристика склонов по крутизне и степени смывости почв

Склоны (по Г. М. Мерсеру)	Уклоны, град			Степень смывости почв
	по С. И. Сильвестрову	по И. Д. Брауде	по указаниям к составлению почвенных карт ВИАУ	
Ровные	Менее 1	—	Очень пологие	Не смывые
Пологие	1—2	До 3	1—3	Слабосмывые
Слабопокатые	—	4—5	—	Среднесмывые
Покатые	3—4	6—10	3—5	Сильносмывые с потерей гумусового горизонта
Сильнопокатые	—	—	5—10	
Крутые	5—10	11—20	10—20	Эрозионно опасные нераспашиваемые склоны или требующие при распашке применения специальных сельскохозяйственных машин
Очень крутые	—	21—30	20—45	
Чрезвычайно крутые	—	31—45	—	
Обрывистые	—	40—70	более 45	

Вышеприведенная характеристика склонов относится к однородным равнонаклонным поверхностям пахотных земель и не учитывает особенностей микрорельефа и экспозиции склонов. Этот недостаток может быть восполнен составлением карт фактической крутизны склонов с использованием крупномасштабных источников и вычислением их для всей площади землепользования.

Уклон поверхности вычисляют по формуле, выражающей функциональную связь уклона с превышением, заложением и сечением рельефа по карте:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l},$$

где $\operatorname{tg} \alpha$ — уклон;

α — угол наклона, град;

h — сечение рельефа, м;

l — заложение, м.

Определяя влияние уклона рельефа на степень смытости почв, следует обращать внимание на линии перелома поверхности. Обычно такие линии служат границами элементов рельефа. Это бровки террас, водораздельные линии, молодые врезы оврагов и долин.

Уклоны поверхности влияют также на степень ветвления оврагов и, таким образом, косвенно на степень размыва территории. На пологих склонах с углами менее 2° формируются длинные овражно-балочные системы с небольшими углами продольного профиля. На крутых склонах образуются короткие овраги с небольшой водосборной площадью и значительными уклонами дна. По сравнению с оврагами пологих склонов эти овраги менее ветвятся, но интенсивность эрозионных процессов здесь значительно больше.

Так как от уклонов зависит степень смытости почв, а следовательно, урожай сельскохозяйственных культур, внимание исследователя в первую очередь должны привлечь формы и элементы рельефа, характеризующиеся нарастанием уклонов от водоразделов к бровкам оврагов и балок. Такой характер рельефа свойствен, например, районам, испытавшим недавнее опускание базиса эрозии, вызвавшее интенсивный врез овражно-балочной сети и увеличение разности высот водоразделов и днщ оврагов. Все это способствует быстрому нарастанию уклонов в нижних частях поперечного профиля. Наоборот, для территорий, оторванных от современной гидрографической сети, — областей первичного моренного рельефа или территорий, испытывающих поднятие базиса эрозии, характерно выполаживание склонов оврагов в их нижних частях.

Но при прочих равных условиях смыв почвы усили-

вается с увеличением длины склона, что особенно заметно при отсутствии растительности, ливневом режиме осадков, а также при одновременном увеличении его длины и крутизны.

Сочетание участков с различными уклонами и длинами создает склоны различной формы. Форма склона и его отдельных участков обуславливает распределение процессов смыва и аккумуляции. Выделяют четыре типа профилей склонов и водосборов: выпуклые, вогнутые, прямые и сложные. На выпуклых склонах из-за нарастания уклонов к днищам оврагов сток воды и смыв резко увеличиваются в их нижней части. Здесь интенсивность смыва в 1,5 раза больше, чем в верхней, менее эродированной части. Выпуклые склоны характерны для эрозионных районов центральной и западной частей лесостепной и степной зон, где за исключением нижней, эродированной, части они распаханы.

Вогнутые склоны размываются медленнее, чем выпуклые, так как их форма приближается к нормальному профилю равновесия. Здесь уклоны постепенно уменьшаются в средней и нижней частях склона, в связи с чем смыв почвы наиболее интенсивен в более крутой водораздельной части, а аккумуляция — в нижней. Мелкоземистый материал особенно интенсивно аккумулируется при резком переходе уклонов от $3-4^\circ$ к уклонам менее 2° на расстоянии 200—300 м от водораздела. Вогнутые профили склонов характерны для прибрежной полосы крупных речных долин степи и лесостепи. Здесь на делювиальных шлейфах развиваются наиболее плодородные почвы. В верхних, эродированных частях вогнутых склонов близко у поверхности лежат коренные породы со смытыми, не пригодными для пахоты почвами.

На прямом склоне при почти неизменных уклонах масса стекающей воды увеличивается от водораздела ко дну оврага. В связи с этим размывающая сила воды, хотя и увеличивается книзу, но очень постепенно. Разница в степени смытости почв на отдельных участках прямых склонов не так резка, как на выпуклых. Сложные склоны рассматриваются как состоящие из элементарных отрезков выпуклых, вогнутых или прямых склонов (например, террасированные). В этих случаях распределение почв различной степени смытости носит очень пестрый характер.

На интенсивности эрозионных процессов сказывается и экспозиция склонов. Экспозиция склонов влияет на тепловой и световой режимы склона, а следовательно, на температуру почвы и ее увлажнение, направление и скорость ветров, что отражается на степени иссушения склонов, характере снегоотложения, промерзания и оттаивания.

Разница в температурах приземного слоя воздуха и почвы на глубине 1 см склонов разной экспозиции, например южной и северо-западной, при их одинаковой крутизне может достигать до 5—7° С, а разница в запасах влаги — до нескольких процентов (В. П. Мосолов, 1949). Это обстоятельство очень важно учитывать при продвижении растений в северные районы, а также определении сроков фаз развития одновременно посеянных культур на склонах разной экспозиции. Обычно южные и юго-западные склоны более континентальны и более теплы, но менее влажны, чем северные и северо-восточные, на которых растения запаздывают в своем развитии. В средних широтах европейской части СССР более высокие температуры почвы на южных склонах позволяют начинать сев ранних яровых культур на 4—7 дней раньше, чем на северных склонах.

Разница в экспозиции склонов всегда учитывается в горах, где резкие контрасты тепла и влаги создаются на северо-восточных и юго-западных, особенно выпуклых склонах, а также в долинах меридионального направления, получающих прямую солнечную радиацию только в полуденные часы. На пологих склонах крутизной 3—5° влияние экспозиции выражено слабо. Его нужно учитывать одновременно с другими характеристиками, в том числе относительной и абсолютной высотой местности над уровнем моря.

Таким образом, уклоны, форма, длина, экспозиция склона, определяя степень его эродированности, служат важными хозяйственными показателями. По ним можно судить о степени возможного смыва почв. Учитывая это, землеустроители классифицируют земельные фонды, размещают сельскохозяйственные угодья и планируют системы противоэрозионных мероприятий применительно к трем типам зон овражно-балочных водосборов. Эти естественные гидролого-геоморфологические зоны в сельскохозяйственной практике называют гидрографическим,

Схема размещения полей севооборота в зависимости от формы склона

Типы склонов по форме поперечного профиля	Приводораздельный фонд	Присетьевой фонд	Гидрографический фонд
Выпуклый склон	Полевой севооборот	Почвозащитный кормовой севооборот	Овощной, овощекормовой, приусадебный севооборот
Вогнутый склон	Почвозащитный севооборот	Полевой севооборот	То же
Прямой склон	Полевой севооборот	Полевой севооборот	Почвозащитный кормовой или овощекормовой севооборот

присетьевым и приводораздельным земельными фондами. Землеустроители обычно рекомендуют следующее использование земельных фондов на склонах различной формы (табл. 11).

Склоны оценивают и с точки зрения возможности использования сельскохозяйственных машин, их конструкции, расхода горючего. Влияние рельефа склона на процесс механизации изучают количественно, используя для этого данные об углах склонов, силе тяге, расходах горючего. Работа среднетяжелого гусеничного трактора при движении поперек склона изменяется в зависимости от его крутизны следующим образом:

- 2° — допустима тракторная обработка вдоль и поперек склона;
- 6° — целесообразна поперечная обработка склона; при обработке междурядий пропашных культур допускается обработка вдоль и поперек склона;
- 10° — движение тракторов поперек склона затруднено из-за крутизны и глубоких размоин (60—100 см); снижается качество вспашки, ухудшаются условия посева и дискования; пахоту рекомендуется производить плугами оборотного типа. При вогнутой форме склона возможна вспашка всвал, при выпуклой — вразвал;
- 15° — движение тракторов поперек склона сильно затруднено; возникает опасность сползания трактора вниз по склону;
- 25° — движение тракторов поперек склона часто невозможно из-за больших уклонов и глубины оврагов; есть опасность опрокидывания и сползания трактора по склону.

При работе гусеничного трактора поперек склона с учетом маневрирования скоростями на подъемах и спусках потеря производительности составляет 2% на каждый градус уклона (А. А. Маслов, 1959). Зависимость между изменением производительности агрегата и поперечным уклоном можно выразить так (С. И. Помелов, 1959):

$$\Delta W' \% = R_1 j,$$

где $\Delta W' \%$ — изменение производительности по отношению к производительности на горизонтальном участке;

R_1 — коэффициент, определяемый экспериментально для всех основных видов работ;

j — поперечный уклон, %.

Микрорельеф и нанорельеф пашни. Микро- и нанорельеф обуславливают перераспределение влаги и тепла на небольших участках, что вызывает существенные изменения в почвообразовании. Особенно велико значение микрорельефа на равнинах зон недостаточной радиации или недостаточного увлажнения, т. е. там, где радиационный индекс сухости меньше единицы или больше двух. Даже очень небольшие колебания рельефа вызывают в таежной зоне заболачивание, а в аридной — засоление почв.

Оценивается микрорельеф главным образом с точек зрения положения его по отношению к более крупным формам и типам рельефа, а также уклонам их поверхности; глубины, размеров и контуров микроформ, вызывающих различия в стоке и водном режиме почв (бессточные, слабосточные и т. п.); связи микроформ с эрозионными процессами; агротехнических мероприятий по предупреждению неблагоприятных явлений, вызываемых микрорельефом (мероприятия по осушению или сбережению влаги, дифференцированные приемы и сроки обработки почвы, а также размещение полей, полосное земледелие и т. п.).

Нанорельеф — это мельчайший рельеф, созданный пахотой, выпасом скота, — борозды, размоины, тропы и т. п. Эти формы рельефа должны рассматриваться и

как факторы концентрации стока и начала эрозии, и как одно из средств борьбы со смывом и размывом почв. В зонах с недостаточным увлажнением наиболее благоприятным рельефом пашни считается мелкоячеистый, при котором выпадающие осадки поглощаются. Однако на поливных землях такой рельеф пашни вызывает неравномерное засоление почв. В зоне избыточного увлажнения отвод излишков осадков в дренажную сеть облегчает гребневидный нанорельеф.

Качественная оценка земель предусматривает выявление таких форм и элементов рельефа, которые могут вызывать процессы заболачивания и оглеения почв, их засоления, выдувания и т. п. Чаще всего эти процессы представляют результат различных соотношений климата, рельефа, почвенно-растительного покрова и хозяйственной деятельности человека. Можно выделить две группы таких процессов сельскохозяйственного значения: а) процессы активные, быстро изменяющие в ходе своего развития рельеф, почвы и растительность (эоловые, эрозионные), причем направить развитие этих процессов в нужную сторону можно созданием относительно стабильного рельефа, например закреплением подвижных песков растительностью; б) процессы пассивные, вызываемые рельефом (заболачивание, засоление, заиление почв). Существенные улучшения в почвенном и растительном покрове наступают лишь при активном инженерном изменении рельефа, например системой дренажа.

Содержание геоморфологических работ по качественной оценке земель в зависимости от условий рельефа. Геоморфологическое содержание работ по качественной оценке земель **меняется** как в зависимости от экономических перспектив развития данного района и возможной специализации сельского хозяйства, так и характера рельефа изучаемой территории. При оценке земель под специализированные зерновые хозяйства прежде всего выделяют крупные нерасчлененные площади, благоприятные по экологическим и геоморфологическим условиям для выращивания зерновых культур и механизированной обработки земель. Для тех же целей, но в условиях более пересеченного рельефа приходится оценивать земли не только с точки зрения эффективности механизированной обработки земель, но и расхода горючего и опасности развития эрозионных процессов. При составлении

карты сельскохозяйственной оценки рельефа Алтайского края В. И. Кравцова (1953) по углам наклона выделила территории, пригодные для обработки обычными сельскохозяйственными машинами (от 0 до 6°), — плоские и волнистые равнины, склоны равнин и предгорий и территории, на которых обработка земель обычными сельскохозяйственными машинами затруднена или возможна только специальными машинами (4—12°), — предгорья и горы. Выделены также территории со средней площадью нерасчлененных массивов от 1 км² (нормальный размер целостных полей севооборота не обеспечивается) до 50 км² и более (территории соответствуют площади среднего колхоза и по условиям рельефа эффективна механизированная обработка земель). Из форм рельефа оценивались те, которые осложняют обработку земель или вообще непригодны для распашки.

При оценке пастбищных территорий юго-западного Узбекистана (Т. В. Звонкова, 1965) рельеф рассматривался с точки зрения возможности обеспечения крупных стад овец подземными и поверхностными водами, качества пастбищ, проходимости рельефа для скота в разное время года, использования некоторых форм рельефа для дневного отдыха овец и т. п. По условиям расчленения рельефа были выделены территории с различными расчетными радиусами отгона скота от водопойных пунктов: нерасчлененные равнины, где по условиям рельефа и состоянию пастбищ расчетный радиус отгона скота можно увеличить до 10 км; слаборасчлененные равнины (<0,5 км на 1 км²) без препятствий для передвижения скота; густо- и глубокорасчлененные песчаные равнины, предгорные пролювиальные шлейфы (1 км на 1 км²), где летом затруднено использование пастбищ в радиусе более 5 км от водопойного пункта; густо- и глубокорасчлененные участки гор (1 км на 1 км²) с крутыми каменистыми склонами, где использование пастбищ в радиусе более 3—4 км от водопойного пункта нерационально.

Особенно важна оценка рельефа в холмистых и низкогорных районах, где уклоны и экспозиция склонов определяют изменение агроклиматических условий. Холмистый рельеф создает существенные различия во влажности почв и температуре, суточном ходе колебания температуры воздуха, продолжительности заморозков.

Определения увлажненности почв на разных элементах холмистого рельефа, проведенные А. П. Федосеевым (1959), показали, что несмотря на различие типов рельефа и положение его в разных географических зонах значения коэффициентов увлажненности целинных почв на одноименных элементах рельефа очень близки*.

В условиях мелкопочвенника лесостепной зоны средние величины коэффициента увлажненности почв в средней части и у подножья склона южной экспозиции соответственно равны 0,53 и 0,94, а в понижениях — 1,41.

На участках холмистого рельефа богарной зоны Средней Азии глубину промачивания значительно уменьшает рельеф, способствующий быстрому поверхностному стоку, переходящему в подземный сток глубже корнеобитаемых горизонтов, либо рельеф, облегчающий испарение влаги. При равных погодных и почвенных условиях такими местами могут быть крутые, особенно обдуваемые ветром склоны и вершины сопок, склоны, расчлененные оврагами.

Оптимальная влажность почвы создается в таких геоморфологических условиях, при которых замедляется поверхностный сток и намывается мелкоземистый материал на северных пологих склонах, вогнутых частях тальвегов, плоских денудационных поверхностях, расширенных днищах сухих долин и логов. Оценку рельефа по его влиянию на степень влажности почв следует производить в нижней границы зоны богарных посевов (600—650 м). С высоты 1000 м продвижение сельскохозяйственных культур в горы ограничивается недостатком тепла в вегетационный период, поэтому здесь рельеф должен рассматриваться как его регулятор. Более благоприятны термические условия на поверхностях выравнивания, на пологих склонах южной экспозиции, а также в широтных долинах. Таким образом, у внешних границ зоны богарного земледелия рельеф создает более благоприятные условия, чем те, которые характерны для нее в целом. Правильная оценка рельефа позволяет раздвинуть границы полосы богарного земледелия.

* Для определения общих закономерностей увлажненности почв по элементам рельефа А. П. Федосеев пользовался не абсолютными значениями различий, а относительным показателем — коэффициентом увлажненности — отношением запасов влаги в корнеобитаемом слое почв различных элементов рельефа к контрольному.

В условиях сухого климата различия в увлажненности форм рельефа более четко проявляются во влажные годы.

В понижениях рельефа нередко создаются озера холода с более продолжительными заморозками, чем на склонах и вершинах холмов.

Во всех климатических районах СССР в условиях холмистого и низкогорного рельефа при относительной разности высот между верхней и нижней точками порядка 20—100 м и крутизне склонов 4—8° развитие и созревание культурных и пастбищных растений происходит неравномерно. Одновременного созревания сельскохозяйственных культур можно достичь размещением их с учетом солнечной радиации, защищенности от ветра, мезоопасности, влагообеспеченности.

Большим объемом геоморфологических исследований сопровождаются работы по качественной оценке земель в эрозионных районах. Рельеф оценивается здесь с точки зрения влияния его на интенсивность оврагообразования и разработки мероприятий по борьбе с овражной эрозией.

Процессы эрозии наиболее характерны для лесостепной и степной зон, где неустойчивость почвенного покрова, его небольшая мощность, засушливый климат, земледельческая освоенность территории создают особо благоприятные условия для развития процессов смыва, размыва и выдувания почв. Но независимо от географических зон процессам эрозии способствует резко пересеченный рельеф с высотами порядка 200—250 м.

Для территории СССР сотрудниками Института географии АН СССР выделено шесть классов рельефа по степени его влияния на развитие эрозии*.

I класс — низменности с крайне слабым расчленением, где влияние рельефа на развитие современной эрозии практически отсутствует.

II класс — более расчлененные низменности и некоторые слаборасчлененные возвышенности со слабым влиянием рельефа на развитие эрозии.

III класс — среднерасчлененные возвышенности, где влияние рельефа на развитие эрозии умеренное.

* «Районирование территории СССР по основным факторам эрозии». «Наука», 1965.

IV класс — наиболее расчлененные возвышенности со значительным влиянием рельефа на развитие эрозии.

V класс — горный тип расчленения, при котором рельеф сильно влияет на развитие эрозии.

VI класс — горный тип расчленения, при котором рельеф оказывает на развитие эрозии очень сильное влияние.

Таким образом, существенное усиление эрозионных процессов наблюдается при переходе от равнинного рельефа к горному, что определяется увеличением глубин местных базисов эрозии и коэффициентом горизонтального расчленения рельефа. К равнинам условно отнесены территории с глубиной местных базисов эрозии до 200—250 м при коэффициенте расчлененности до 2,0—2,5 км/км², к горам — территории с большими значениями этих показателей.

В благоприятных геоморфологических и физико-географических условиях непосредственными факторами оврагообразования служат длина линий стока, угол наклона поверхности, состав пород. При этом возникновение активной, или, как иногда говорят, ускоренной, эрозии характерно для районов с неправильным хозяйственным использованием территории: массовой распашкой крутых склонов, особенно продольными к ним бороздами, возрастающими площадями посевов пропашных культур без соответствующих мер предосторожности, перегруженными выпасом пастбищами и т. п. Процесс ускоренной эрозии, вызываемый нерациональной сельскохозяйственной деятельностью человека, нередко называют сельскохозяйственной эрозией и в зависимости от частных причин ее возникновения — ирригационной, дорожной и т. п.

Для центральной части Приволжской возвышенности при прочих равных условиях на активность оврагообразования наибольшее влияние оказывают длины линий стока. При длине линий стока 150—450 м характерны слабоактивные овраги, 300—600 м — среднеактивные, более 750 м — активные. Факторы, влияющие на развитие оврагов этой территории, были суммарно оценены по пятибалльной системе (Л. Е. Сетунская, 1963). Минимальную сумму баллов в 3,2 получили залесенные короткие участки склона длиной менее 150 м, крутизной

менее 1° с выходами на поверхность коренных пород — песчаников, мела или опок.

Максимальная сумма баллов 14,2 характеризует распахиваемый склон, сложенный у поверхности суглинками с четко выраженными водоподводящими ложбинами, длиной склона более 750 м и крутизной более 3°. Суммарная оценка факторов оврагообразования позволила выделить участки наиболее эрозионно опасные и наименее подверженные эрозии.

Эрозионные процессы оставляют следы на многих элементах ландшафта, например почвах и их смывости, густоте и видовом составе растительности, формах рельефа. Отражая на себе суммарное влияние многих природных факторов, действующих на процессы эрозии, рельеф может быть их выразителем. Морфологическими признаками интенсивности оврагообразования и степени смывости почв служат густота овражной сети, размеры эрозионных и аккумулятивных форм рельефа, изменение их форм и размеров во времени и по площади; форма и размеры вершин оврагов в плане, высота вершинного перепада, крутизна его стенки, продольный профиль оврага, профиль днища и склонов. Показателями роста оврагов могут быть также площадь, уклоны и форма водосбора, свежие оползни, осыпи и другие явления, фиксирующие различные типы перемещений грунта по склонам (гравитационные процессы на овражных склонах не могут активно развиваться без достаточного притока воды, размывающей их упоры).

Качественная оценка рельефа эрозионных районов проводится и для организации противоэрозионных мероприятий. В этом случае рельеф следует рассматривать с точек зрения рационального размещения по его элементам земельных угодий, искусственных изменений рельефа и создания микрорельефа пашни, размещения противоэрозионных сооружений.

Наиболее общая и распространенная система противоэрозионной организации территории основана на рациональном размещении системы севооборотов и земельных участков по элементам рельефа. Так, пропашные и технические культуры должны высеваться на площадях, не подверженных эрозии; на эродированных склонах необходимы почвозащитные севообороты из разных сельскохозяйственных культур, свойственных местным при-

родным условиям; на сильноэродированных участках высевают многолетние травы и сажают лес.

Земельные участки по возможности следует располагать на склонах одной экспозиции и длинными сторонами вдоль горизонталей. В пределах каждого участка падение высот должно быть минимальным и все производственные процессы осуществляют поперек склонов (при пахоте поперек склона сезонный смыв почв уменьшается нередко в 4—6 и даже 12 раз по сравнению с продольной вспашкой).

Однако такой способ размещения полей севооборота по отношению к элементам рельефа рекомендуется преимущественно для зон недостаточного и неустойчивого увлажнения. В зонах с избыточным увлажнением, где важно не задержание и сохранение влаги в почве, а отвод ее из мест застоя, особенно с полей, засеянных озимыми, картофелем и бобовыми, на пологих склонах с западинами приходится выбирать участки, удобные для вспашки и сева, вдоль склона или под углом к нему. Так, учитывая свойства рельефа и приспособлявая к нему размещение сельскохозяйственных угодий и организацию сельскохозяйственного процесса, можно значительно уменьшить разрушительное действие эрозии даже без применения специальных противоэрозионных сооружений.

Вторая мера противоэрозионной защиты состоит в искусственном изменении активно действующих на эрозию геоморфологических факторов — уклонов рельефа, длины и формы склона. Уклоны склонов и их форму изменяют террасирование и искусственная подсыпка, применяемая в горных и подгорных районах при организации чайных и цитрусовых плантаций. «Уменьшение» длины склона достигается разбивкой его на отрезки полосами, «буферами» из многолетних трав и лесных насаждений.

Уменьшения уклона оврага можно достичь устройством по его руслу запруд. Задерживая твердый материал, разбивая крутой профиль днища на ряд более пологих участков, запруды поднимают и расширяют днище оврага и тем самым предохраняют его от размыва, а ниже расположенные поля — от заноса и заиления.

Защитой против эрозии может служить также искусственный микрорельеф пашни — перекрестное и преры-

вистое бороздование, обваловывание по горизонталям. Такой искусственный «агротехнический микрорельеф» ослабляет сток и смыв, задерживает воду на пашне, облегчает ее поглощение культурными растениями. В районах сильной эрозионной деятельности защитные агротехнические мероприятия должны сочетаться с агролесомелиоративными, в частности с лесными посадками.

Защитные лесные полосы подразделяют по их назначению, и эта классификация в целом совпадает с положением насаждений относительно элементов рельефа (Д. Л. Арманд, 1961). В условиях пересеченного рельефа, главным образом на склонах, лесные полосы создаются для защиты от эрозии. Они рассчитаны на поглощение вод склонового стока, имеют значительную ширину и плотную конструкцию. На равнинах, широких плоских водоразделах с многочисленными западинами, а иногда с массивами песков поверхностный сток очень слаб и смыв почв отсутствует. В этих условиях лесные полосы служат для защиты полей от засушливых ветров и суховеев, для снегозадержания и снегораспределения. Эти полосы называют полезащитными ветроломными, и при проектировании их изучают не столько рельеф, сколько направление ветров, вредных для сельскохозяйственных культур. Ветроломные полосы обычно располагают перпендикулярно к господствующим ветрам или под углами 45—60°. В районах с интенсивными ветрами и стоком не менее 250 м³ на 1 га при размещении лесных полос прежде всего учитывают поверхностный сток.

Противоэрозионные лесные полосы располагают между пашней и склонами гидрографической сети близ ее бровок. Положительное действие таких насаждений во многом зависит от правильного учета рельефа. Привражные лесные полосы должны создаваться в местах питания оврага водой. У донных оврагов с окружающими их водосборными бассейнами лесные полосы размещают на балочных склонах. На крутых высоких берегах часто возникают короткие вершинные овраги грушевидной или овальной формы. Они начинаются близ бровок больших оврагов и питаются через свое верховье. В этом случае лесные полосы проектируют перпендикулярно к их направлению, т. е. параллельно бровке оврага.

Склоновые овраги характерны для приводораздельных пространств. Они имеют вид крупных длинных про-

мойн со сравнительно большой водосборной площадью. Питание таких оврагов идет с верховьев и со склонов, совладающих с общим уклоном местности. Это определяет размещение лесных полос вокруг верховьев оврагов и вдоль бровок со стороны наибольшего притока воды.

Размещение лесных полос зависит от стадии развития эрозионных форм. Первичные русла временных водотоков — струйчатые размывы не нуждаются в специальной лесомелиоративной защите для борьбы с ними. Они легко заравниваются сельскохозяйственными орудиями. При переходе плоскостного стока в линейную эрозию возникают промоины с невыработанным профилем равновесия, не проходимые для трактора. При защите полей от их действия роль лесных полос обычно выполняют многолетние травы.

На стадии вершинного роста и углубления оврага на прилежащем водоразделе размещают канавы и валы, которые задерживают поверхностный сток, а на дне и вдоль русла сажают кустарники и деревья с хорошо развитой корневой системой, способной закреплять обваливающиеся берега. Правда, такие насаждения лучше создавать на тех частях русла, где уже завершается выработка его продольного профиля, или, наоборот, в местах, куда глубинная эрозия еще не проникала (например, выше русловых структурных перепадов). В стадии выработки профиля равновесия, когда происходит и углубление, и особенно расширение русла оврага, донные насаждения используют главным образом против меандрирования потока. Их размещают у подножий овражных склонов, что уменьшает подмыв и способствует естественному укреплению склонов.

Наконец, в стадии ослабления овражной эрозии и перехода оврага в балку лесомелиоративные мероприятия направляют на защиту склонов от размыва талыми и дождевыми водами.

На рис. 20 показано размещение защитных насаждений около оврагов на разных фазах развития овражных склонов.

Установив признаки роста оврагов и получив количественные данные об их росте в длину за определенный отрезок времени, можно определить расстояние от овра-

га, на котором следует закладывать лесную полосу*. У слаборастущих эрозионных форм (примерно до 0,5 м в год) лесные полосы проектируются обычно на расстоянии 1—5 м от бровки или 5—6 м от вершины оврага. Если рост оврага превышает 2—3 м в год, то лесную

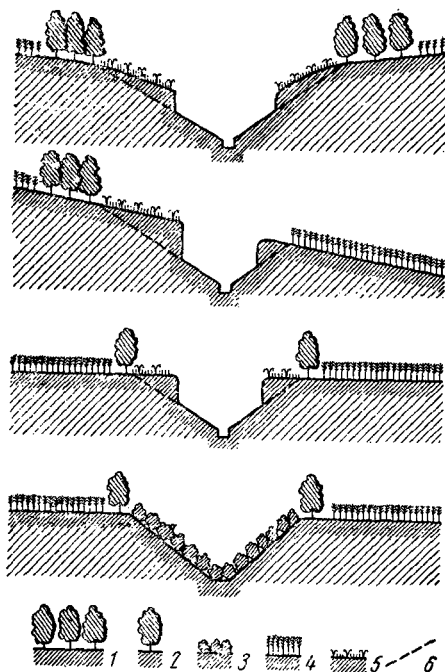


Рис. 20. Схемы размещения защитных насаждений около оврагов при разных водосборах и фазах развития овражных склонов (по Д. Л. Арману, 1957):
 1 — противозерозионные полосы, 2 — ветроломные полосы, 3 — кустарники, 4 — пашня, 5 — залуженные участки, 6 — линии сползания

полосу следует закладывать на расстоянии 25—50 м, иначе молодой лес, не успевший вырасти, не будет защищать от эрозии.

Геоморфологические исследования при проектирова-

* Наиболее надежные количественные данные о росте оврагов в длину дают материалы повторных нивелировок и аэрофотосъемок.

нии лесо- и полезащитных насаждений предусматривают постоянный учет других природных факторов, влияющих непосредственно как на лесные полосы, так и на сам рельеф. В связи с этим очень важно замечание В. Р. Вильямса о том, что в организации полосного лесоразведения чрезвычайно существенно выдержать принцип планового охвата целых природных областей и районов, а не только, скажем, территории одного колхоза или совхоза. Более правильный учет природных особенностей в организации единой системы лесонасаждений на территориях землепользования легче осуществить в укрупненных хозяйствах.

Отмеченные противоэрозионные мероприятия отвечают рекомендациям специальных постановлений правительства о борьбе с водной и ветровой эрозией и направлены на активное преобразование природы и воспроизводство природных ресурсов нашей страны.

На основе качественной оценки земель проводится организация (землеустройство) территории, главная задача которой — установление наиболее рациональных форм использования каждого земельного участка. При организации территории рельеф изучают в связи с размещением сельскохозяйственных угодий, применением машин, выбором участков под населенные и производственные пункты, полевые дороги и другие объекты. В случае межхозяйственного землеустройства необходима более общая характеристика рельефа территории — типов и форм рельефа, удобных для использования в сельскохозяйственном процессе: степени его равнинности или расчлененности, развития водораздельных плато, длинных пологих склонов, широких пойменных долин. Общий учет геоморфологических условий особенно важен, если территория землеустройства охватывает несколько генетических типов рельефа. Большую помощь оказывает здесь геоморфологическое районирование территории.

Землеустройство в пределах одного хозяйства требует более детального изучения иногда частных особенностей рельефа. В обоих случаях организация территории тесно связана с разработкой перспективного плана развития народного хозяйства каждого района.

Геоморфологическое районирование для сельскохозяйственных целей. Качественная оценка земель всегда

сопровождается районированием территории в разных масштабах. Общий принцип составления геоморфологических карт для сельскохозяйственных целей — отражение на карте связей рельефа с комплексом природных условий и в первую очередь климатом, почвами, растительностью. Карта должна содержать такие геоморфологические показатели, которые позволяют оценить по ним закономерности размещения почв, распределение снега и влажность почв, режим склонового стока и смывость почв, микроклиматические условия.

Для разработки зональных систем сельского хозяйства нужна мелкомасштабная карта физико-географического районирования, учитывающая многие факторы, влияющие на выбор и соотношение отраслей хозяйства и культур. Геоморфологическую часть карты составляет районирование по абсолютной высоте, степени вертикального расчленения рельефа и геоморфологическим условиям, вызывающим природные процессы сельскохозяйственного значения: эрозию, дефляцию, заболачивание, засоление, заиление и т. п. Все эти факторы помогают определить пригодность территории для той или иной отрасли хозяйства, соотношение отраслей, участки, опасные в эрозионном отношении, и т. п.

Для среднемасштабных геоморфологических карт важен классификационный показатель горизонтального расчленения рельефа, который влияет на производительность труда, себестоимость продукции, средний размер полей, густоту сети лесных насаждений и даже размеры хозяйства.

Крупномасштабные геоморфологические карты часто имеют самостоятельное значение. Они отражают местные геоморфологические условия и многие детали рельефа. Карта содержит количественную оценку земель разного качества по их уклонам, густоте долинно-балочной сети, западишности, удаленности от ближайших местных базисов денудации, экспозиции и т. п. Особенно большое значение имеют геоморфологические карты для холмистых территорий, где рельеф приобретает ведущее значение.

ОЦЕНКА РЕЛЬЕФА ПРИ ОРОШЕНИИ И ОБВОДНЕНИИ ТЕРРИТОРИИ

Для тех сельскохозяйственных районов, где существует недостаток или избыток влаги, решающее значение имеет проблема водохозяйственного устройства территории. При недостатке влаги особенно важно тщательно учитывать те природные факторы, которые могут способствовать ее сохранению, уменьшению потерь, определять условия водоснабжения и водопользования. При избытке влаги рельеф оценивается главным образом с точки зрения использования его для отвода воды.

Крупные масштабы оросительных мелиораций должны предусматривать экономичные пути их организации. Это тем более необходимо, что введение в орошаемое земледелие ценных сельскохозяйственных культур и интенсивное использование земель усложняют конструкции и оборудование ирригационных сооружений, увеличивают их стоимость. Не следует также забывать и о неблагоприятных природных явлениях, связанных с высокими температурами воздуха, непромывным режимом почв, часто плохими фильтрационными свойствами и просадочностью грунтов зон недостаточного увлажнения. Недоучет этих явлений приносил не только экономический ущерб, но в некоторых случаях делал невозможной дальнейшую эксплуатацию земель. Ярким примером может служить организация оросительных работ в Голодной степи, где сейчас приходится рассолять тысячи гектаров земель, испорченных еще в дореволюционное время системой полива, которая не учитывала местные географические условия.

Проблема организации орошения должна рассматриваться одновременно с двух точек зрения — проектирования оросительной сети и орошения земель.

Учет рельефа при проектировании оросительной сети. Проектирование оросительной сети непосредственно связано со всем комплексом природных факторов, так как сама потребность в мелиорации есть функция географической среды. От нее зависит не только инженерное решение мелиораций, например тип оросительной сети, но еще в большей степени нормальная работа ирригационных систем и последствия орошения (засоление, заболачивание почв).

Чтобы решить задачу о наиболее полном и рациональном учете природных условий для проектирования оросительной сети, прежде всего необходимо выяснить характер связей между проектируемой оросительной сетью и местными природными условиями. Для тех районов, где отношение количества осадков к испаряемости за год составляет величину $< 0,12$, т. е. для очень сухих территорий, необходимо выявить те природные факторы, которые могут способствовать сохранению влаги, уменьшению ее потерь и определению условий водопользования. Чаще всего к числу ведущих факторов относится рельеф, характер грунта и физико-географические процессы.

В условиях крайних температур и влаги в значительной степени под контролем рельефа находятся микроклимат, фильтрационные свойства грунтов, степень их засоления, а также почвы и растительность. Не менее существенно и непосредственное влияние рельефа на объем земляных работ, тип оросительной сети, способ орошения и технику полива земель, на системы водозабора, водосбросов и водоприемников. Характер грунта определяет способ производства земляных работ, степень их размываемости и просадочности, скорость фильтрации воды в днища и борта каналов, возможность засоления и заболачивания земель. Физико-географические или физико-геологические процессы обычно проявляются как следствие неблагоприятного сочетания нескольких природных факторов, действующих в одном направлении. На юге Средней Азии неблагоприятно, например, сочетание западного рельефа и глинистых грунтов, на участках распространения которых при подъеме уровня грунтовых вод появляются засоленные пятна почв с изреженными всходами хлопчатника и других культур (рис. 21). Установив связи между ведущими природными факторами и оросительной сетью, необходимо отразить их через показатели. Взаимоотношения между рельефом и оросительной сетью могут быть выражены показателем расчленения рельефа, который для условий пустынь характеризует генезис и уклон поверхности, состав пород, выходящих на поверхность, степень задернованности почв, возраст ландшафта.

Взаимоотношения грунт — оросительная сеть наиболее комплексно выражены в показателях — типах мест-

ности по характеру и степени засоления, заболоченности, просадочности. В этих показателях находят отражение гранулометрический состав пород, их фильтрационные свойства и степень естественной дренированности данной территории.

Помимо данных о расчлененности рельефа для проектирования оросительной сети необходимы сведения об

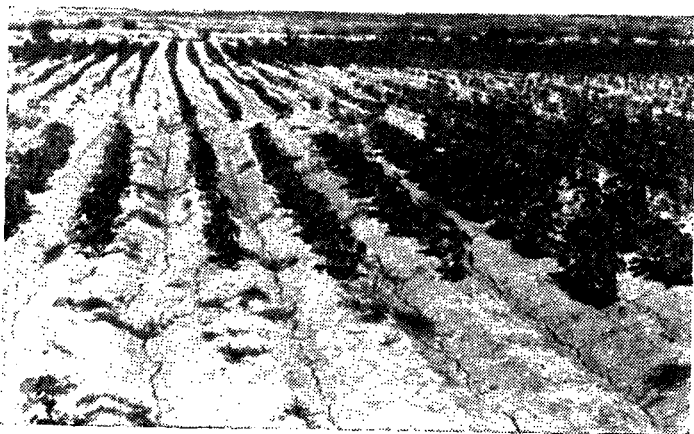


Рис. 21. Влияние микрорельефа поля на всходы хлопчатника (фото П. Гулямова)

общем наклоне территории и уклонах орошаемого участка, которые позволят установить характер использования стока и водозабора, тип полива (напуском, по бороздам, затоплением). Общий профиль орошаемой территории (выпуклый, вогнутый, прямой) и ее естественная дренированность обуславливают различия в режиме грунтовых вод и почвенном процессе при орошении. Положение орошаемого участка на сухой дельте, склонах или днище долины, рисунок его горизонтального расчленения определяют конфигурацию оросительной сети и план трассы временных оросителей (прямые, ломаные, криволинейные и т. п.).

По геоморфологическому положению различают следующие типы оросительных систем: дельтовые оросительные системы — Аму-Дарьинская, Волжская, Куришская; пойменные оросительные системы — Волго-Ахтубинская; террасовые оросительные системы — Вахшская,

Ферганская, Голодностепская, системы на террасах Волги, Дона и их притоков; равнинные оросительные системы — Моздокская, Днепровская; предгорные оросительные системы — Сохская, Исфаринская, Тедженская, Мургабская; водораздельные оросительные системы — Заволжская на сыртах.

Для определения возможности самотечного орошения или подкачки воды на разные высоты нужны данные о гипсометрическом положении орошаемой территории по отношению к уровню источника орошения. Следует также оценить и зафиксировать сухие русла, овраги, балки, ложбины, которые удобны под трассы магистральных каналов, водосборной и сбросной сети; крупные котловины у начала и конца оросительной сети, которые можно использовать для регулирования стока и приема сбросных вод; карстовые формы рельефа и возможность фильтрации через них вод; стадию эрозионного развития речных долин (глубинная, боковая эрозия) для определения типов наносов и наносоуловительных сооружений, мер защиты от размыва. В прошлом из-за значительных скоростей течения воды в оросительных каналах Средней Азии преобладала донная эрозия, углубившая русла каналов на 7—8 м. В настоящее время из-за поднятия уровня воды плотинами преобладает боковая эрозия, распространяющаяся на 150—200 м в стороны от трасс каналов. Боковая эрозия, увеличивая мутность воды, приводит к быстрому заилению и накоплению осадков в верхних бьефах плотин и дамб, вызывает обвалы и оползни, разрушение береговых сооружений, мостов.

Особенно сложно проектирование оросительных каналов в районах развития просадочных пород. На таких территориях исследователя прежде всего интересуют мощность просадочной толщи, ее физико-химические свойства, положение по отношению к крупным элементам рельефа, а также геоморфологические признаки просадочности пород. О пористости пород, способности их к самоуплотнению, уменьшению объема и образованию при увлажнении значительных смещений грунта свидетельствуют: а) крупные и глубокие просадки в виде трещин, террас проседания, воронок (при небольшой мощности лёссовых пород и уровне грунтовых вод на небольшой глубине); в) мелкие и редкие просадки без нарушений дернового покрова (блюдца, западины), обычно харак-

Тёрные для участков с большой мощностью лёссовидных пород и глубоким залеганием грунтовых вод.

В связи с вышеизложенным при трассировании каналов заслуживают внимания полые, пониженные формы рельефа — сухие русла рек, ложбины, балки. В этих случаях лёссовидные породы под влиянием инфильтрующихся вод из временных или постоянных потоков уплотняются и теряют свойства просадочности. Процесс уплотнения лёссовидных пород при их естественном увлажнении лежит в основе борьбы с явлениями просадок вдоль каналов (имеется в виду предварительное замачивание выемок канала и покрытие его «одеждой» после того, как просадки прекращаются).

В Средней Азии просадки распространяются на 30 м в сторону от оросительных каналов, а на Терско-Кумско-Манычском канале — на 80 м. Вертикальные смещения грунта в виде просадочных террас нередко достигают 2 м и особенно интенсивны при близком положении к каналам орошаемых полей. По интенсивности просадок вдоль каналов Мало-Кабардинской и Терско-Кумской оросительной системы выделяют три зоны: слабопросадочную с вертикальной осадкой до 0,5 м, среднепросадочную с осадкой от 0,5 до 1,0 м и зону с интенсивной просадкой от 1 м и выше. При удалении от канала размеры вертикальных смещений грунта уменьшаются и вдоль канала возникают невысокие просадочные террасы с поверхностью, наклоненной в сторону канала.

В зависимости от местных природных условий при проектировании каналов следует учитывать возможность заноса их песком, разрушение селями и т. п. Например, очень сложна эксплуатация Каракумского канала, особенно в юго-восточной части пустыни. Из-за меандрирования русла канала и движения песков в него попадают большие массы рыхлого материала, который меняет фарватер, в связи с чем приходится укреплять берега канала (рис. 22).

Микрорельеф орошаемых земель. При орошении новых земель наиболее трудоемки планировочные работы, которые нередко составляют до 35% стоимости всего объекта. Объем и стоимость планировочных работ в значительной степени зависят от микрорельефа поливного участка, который определяет также способ полива. В практике мелиоративного проектирования под микро-

рельефом понимают поверхность с относительными высотами от 0,05 до 0,20 м. Колебания высот в 0,20 м. и уклоны менее $0^{\circ},2$ (при поливе по открытым бороздам) создают сложный микрорельеф, вызывающий переполнение поливных борозд водой, размыв их и растекание воды, значительное превышение поливных норм, затяжку полива, а также заболачивание, засоление земель, неравномерное созревание культур.

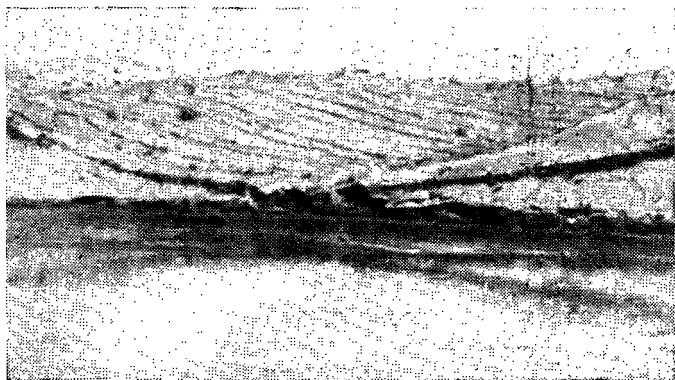


Рис. 22. Закрепление селином песчаных берегов Каракумского канала

Влияние микрорельефа на способ полива неодинаково в условиях малых и больших уклонов. На участках с очень небольшими уклонами даже повышения в 4 см уже существенно влияют на распределение норм поливных вод по длине борозды: на повышениях микрорельефа поливная норма составляет менее $\frac{2}{3}$ от средней величины, а по остальной части борозды несколько превышает величину средней нормы. В этих условиях целесообразна планировка земель или укорочение длины поливных борозд до 50 м (в зависимости от величины срезки грунта и планируемой площади).

При больших уклонах и значительном расчленении рельефа возникает необходимость в планировке земель, объемы которой нередко достигают 1000 м^3 на 1 га. Уменьшение объема планировочных работ возможно при тщательном учете микрорельефа поливного участка, что

достигается изменением направления посевов и, следовательно, поливных борозд, обеспечивающих оптимальные уклоны их дна.

В целом при уклонах менее 0,05% самотечное орошение невозможно, а при уклонах 1—2% возникает опасность размыва почв при поливе вдоль склона. Оптимальные уклоны для оросителей всех систем 0,1—0,5%.

Классификация территорий и геоморфологическое районирование по условиям орошения. В основу большинства классификаций территорий по условиям их орошения положены геоморфологические принципы (Л. В. Дунин-Барковский, 1960; В. А. Ковда, 1945; В. М. Легостаев, Б. В. Федоров, 1953 и др.).

По условиям орошения и типу оросительной сети в Средней Азии выделяют горные, предгорные и равнинные области. В горных областях выделяют высокогорные и низкогорные районы, в предгорьях — конусы выносов. В зависимости от уклонов и высотного положения в горах чаще применяют регулярно действующее самотечное орошение, а также зональную оросительную сеть. Для предгорьев характерно самотечное радиальное орошение.

По условиям дренированности, а следовательно, степени засоления и заболачивания почв в горах различают: низовья и суженные участки долин, низкие террасы, где незначительная естественная дренированность вызывает засоление почв, верхние участки долин и высокие террасы, где благодаря свободному стоку грунтовых вод господствуют процессы рассоления почв.

На равнинах по условиям орошения выделяют дельты и обширные древнеаллювиальные пространства с механическим паводковым поливом. Геоморфологическое строение этих территорий предопределяет коренные различия в характере почв, их водно-солевом режиме и направлении процесса миграции солей. Закономерное распределение по элементам рельефа типов и сроков вторичного засоления почв учтено, например, при организации оросительной сети в Голодной степи. Быстро и резко проявляется засоление в понижениях рельефа (хлоридное и сульфатно-хлоридное засоление почв) и на нижних частях конусов выноса (хлоридно-сульфатное и сульфатно-хлоридное). Засоление почв средних частей конусов выносов (сульфатный тип засоления) наступает лишь через

несколько лет после орошения и вначале проявляется пятнами, а потом целыми массивами. Слабо засолены почвы дренированных верхних террас и верхних частей конусов выноса.

Карту геоморфологического районирования по условиям орошения нужно составлять, одновременно учитывая как особенности рельефа для проектирования оросительной сети, так и последствия орошения и необходимые при этом виды мелиорации. Научную основу такой карты должны составлять морфогенетические и возрастные типы рельефа, например типы древних и современных дельт рек, террас речных долин, подгорных пролювиальных шлейфов и т. п. Тип рельефа определяет тип оросительной сети и в некоторой степени источник водоснабжения, различия в характере почв и направленности процессов миграций солей.

Основу прикладной части карты составляют районы, выделяемые по сходству инженерно-геоморфологических показателей и повторяемости их вариантов. В пределах района должны быть сходны природные процессы, которые могут возникнуть в период эксплуатации оросительной сети, и характер мероприятий, необходимых для борьбы с неблагоприятными явлениями. Внутри района оконтуривают небольшие участки с особыми характерными признаками, предопределяющими различия в типах оросительной сети, объеме земляных работ, последствиях мелиораций. Это могут быть места густо- и глубокорасчлененного рельефа, где необходимы глубокие выемки или высокие дамбы, участки активных и опасных для каналов просадок и оползней, места с тенденцией к засолению почв и т. п. На таких участках необходимы отступления от типового проекта инженерного сооружения.

Нередко возникает потребность в составлении специальных крупномасштабных карт, например, для определения способа полива. В этом случае решающее значение приобретают уклоны и микрорельеф территории. Уклоны оцениваются по их размерам (малые и большие), степени допустимости для данного вида полива, постоянства или непостоянства (переменные уклоны). Микрорельеф орошаемого поля рассматривается с точки зрения его роли в иссушении увлажняемого горизонта почвы за межполивные периоды, степени увлажнения при веге-

тационных поливах, подверженности засолению и возможности снижения интенсивности миграции солей в приповерхностном горизонте и т. п.

Исследования геоморфолога очень полезны при установлении очередности проектирования оросительной сети и, следовательно, освоения земель. Например, приступая к освоению земель древней дельты р. Зеравшана, следует учитывать разновозрастность генетически однородных такырных равнин. На поверхности древней аллювиальной дельты Зеравшана такыры распространены повсеместно и внешне сходны. Однако возраст их различен, что отражается на особенностях их сельскохозяйственного освоения.

Значительное сходство обнаруживают такыры западной и центральной частей древней дельты Зеравшана, с другой стороны — такыры окраин современных оазисов и сухого русла Дарьясай (подножие гор Кульджуктау). Вторая группа такырных равнин отличается от такыров западной и внутренней частей дельты большим содержанием в почвах гумуса (0,6—0,8%), отсутствием морфологически выраженного карбонатного горизонта, небольшим количеством легкорастворимых солей, ржавой и сизой окраской верхних горизонтов почв. Это свидетельствует о том, что по сравнению с центральными частями дельты такырные равнины окраин Бухарского оазиса и русла Дарьясай, обводняясь водами блуждавших по поверхности дельты русел Зеравшана, еще недавно находились в состоянии избыточного увлажнения. Эти такырные равнины молоды, но такыры окраин Бухарского и Каракульского оазисов еще моложе, так как совсем недавно орошались. Об этом свидетельствуют не только остатки полузасыпанных песками ирригационных каналов и погребенный культурный горизонт почв, но и очень слабая засоленность почв, а также густой покров из верблюжьей колючки, характерный для участков распространения грунтовых вод глубиной до 10—12 м*. Таким образом, в первую очередь экономичнее осваивать такырные равнины земель древнего орошения по окраинам Бухарского и Каракульского оазисов.

* Такырные почвы окраин Бухарского и Каракульского оазисов: засолены с 2 м от поверхности, а генетически сходные почвы Дарьясай — с глубины 15 см.

Рельеф и обводнение пастбищ. Основной источник водопоя скота на пастбищах пустынь и полупустынь — грунтовые воды. По характеру рельефа, степени его расчленения, наличию западин, ложбин, балок, уклонам можно судить о глубине, сплошности и качестве грунтовых вод. Такой прием исследований широко применялся для выявления условий водообеспечения районов пастбищного отгонного животноводства в Казахстане (Т. В. Звонкова, С. Л. Кушев, Б. А. Федорович, 1947). Тщательный анализ рельефа и геологического строения Казахстана позволил быстро при ограниченных полевых исследованиях установить качество грунтовых вод, глубины залегания, сплошность или прерывистость распространения и предположительный дебит вод.

Одновременно с обводнением пастбищ решается вопрос о кормовой базе. В этом случае рельеф рассматривается главным образом в аспекте его влияния на естественную увлажненность и продуктивность отдельных участков пастбищ. Например, наиболее резкие отклонения от средней влажности почвы на плато юго-западного Узбекистана обусловлены появлением эоловых форм и такыров с различной влагоемкостью грунтов. Сравнительно благоприятны участки с эоловым рельефом, так как песчаный грунт хорошо поглощает и медленно испаряет влагу. К склонам песчаных гряд приурочены богатые пастбища с хорошим урожаем кормов. Межрядовые понижения увлажняются больше, но их полынные пастбища иссушаются черным мхом. Бедны пастбища на такырах, так как влага плохо проникает в глинистый грунт и быстро испаряется. В целом микрорельеф равнин может вызывать колебания в промачиваемости почв от 30 до 200 см, что влияет главным образом на урожайность полынных пастбищ**.

Использование геоморфологического метода при хозяйственном освоении пастбищных районов возможно лишь при учете взаимодействия грунтовых вод и растительности с другими компонентами ландшафта — рельефом, геологическим строением, климатом, поверхностными водами и почвами.

Оценка рельефа для выбора прудовых чаш. Малопродуктивность и общая неустойчивость увлажнения, сильная

** Основная масса питающих корней у полыни расположена в горизонте от 5 до 40 см, а у песчаной осоки — до 20 см.

изрезанность рельефа, большие и часто меняющиеся уклоны нередко ограничивают применение самотечного орошения. К числу таких территорий относятся Центрально-Черноземные области европейской части СССР, природные условия которых больше подходят для организации небольших водохранилищ — прудов.

Пруды образуются за счет подпруживания периодического стока на малых, иногда пересыхающих реках, в балках и логах. Вопрос о строительстве пруда следует решать, исходя из соотношения необходимого полезного объема воды, получения возможного количества ее с данного водосбора и емкости прудовой чаши. При использовании пруда для орошения, кроме того, нужно установить соотношение объема прудовой чаши и размеров участков, имеющих для полива.

При выборе места под водоем необходимо учитывать требования как к местоположению самого пруда, так и к устройству плотины и орошаемому участку. Пруд должен быть достаточно емким и глубоким, не пропускать воду, не заиливаться, а также располагаться на повышении рельефа, что необходимо для организации самотечного орошения. При устройстве прудов с сельскохозяйственными целями обычно выбирают старые эрозионные формы рельефа: балки, крупные ложбины и другие естественные понижения (во впадинах и западинах чаще устраивают пруды-копани). Кроме того, воды пруда должны увеличивать влажность почвы и повышать уровень грунтовых вод. При прочих равных условиях для прудов выбирают балки, ориентированные перпендикулярно к господствующему направлению ветра.

Так как водоем в балке часто питается лишь снеговыми и талыми водами, то он должен быть расположен в таком месте, куда стекает наибольшее количество воды, т. е. в верховьях балки. Такое положение пруда обеспечивает механический подъем воды на небольшую высоту и исключает затопление ценных сельскохозяйственных угодий в низовьях балок и рек. Для чаши пруда наиболее удобны овальные удлиненные верховья балок без разветвлений. Неблагоприятны лопастные вершины балок, так как в этом случае увеличиваются потери воды на испарение и фильтрацию.

В случае необходимости получения больших объемов воды и отсутствия крупных балок с водосборами поряд-

ка нескольких десятков километров пруд удобнее устраивать ниже слияния двух балок или в средней, более глубокой и широкой части балки. Но в этой части продольного профиля балки обычно уменьшается уклон, и, получая большую площадь, пруд становится мелким и быстро зарастает. Наоборот, при слишком большом уклоне вся вода сосредоточивается в углублении, занимая небольшую площадь. Это предусматривает строительство высокой плотины, что в условиях колхозного хозяйства не всегда рентабельно. Поэтому пруд обычно устраивают в таком месте, где дно балки снижается не более чем на 2 м на каждые 100 м длины.

В том месте, где проектируется пруд, балка должна иметь высокие, но не слишком крутые симметричные берега и четко очерченное плоское дно. Такой поперечный профиль обеспечивает хорошее сопряжение бортов долины с телом плотины. От формы балки зависит также объем чаши пруда. В обобщенном виде эта зависимость может быть выражена формулами. Если балка имеет V-образный профиль, то объем чаши пруда V равен

$$V = \frac{1}{6} bhl, \quad \text{или} \quad V = \frac{bh^2}{6i},$$

где V — объем пруда, м^3 ;

b — ширина пруда у плотины по урезу воды, м ;

h — наибольшая глубина пруда у плотины, м ;

l — длина зеркала воды в чаше пруда, м ;

i — уклон тальвега балки, м/км .

Для балок с трапециевидным поперечным профилем или профилем, приближающимся к параболической кривой, объем пруда определяется по формуле

$$V = \frac{2}{9} bhl, \quad \text{или} \quad V = \frac{2bh^2}{9i}.$$

При одинаковой средней ширине и глубине прудов у плотин, но более пологом уклоне тальвега и большей ширине днища балки получается большая разница в площадях зеркала и объемах прудов, а следовательно, и в возможностях орошения. Таким образом, во всех отношениях более удобны для устройства прудов балки трапециевидной формы. Они характерны для районов с горизонтальным залеганием пород различной твердости и районов с тенденцией к развитию боковой эрозии.

В чашу пруда не должны открываться балки и особенно овраги, водотоки которых могут подмывать плотину и быстро заиливать водоем. О возможной скорости заиления строящихся прудов позволяет судить густота эрозионного расчленения, характеризующая интенсивность современных эрозионных процессов.

Совместно с выбором прудовых чаш отбирают участки для орошения. При этом учитывают их микрорельеф, высоту и удаленность от источника орошения. Большую помощь в выборе участков оказывают данные о глубине эрозионного расчленения территории, определяющие высоту подъема воды из прудов на участки орошения и, следовательно, стоимость строительства оросительной сети и эксплуатационные расходы. При этом важно знать не общее превышение водоразделов над реками и балками, а превышение над их днищами близлежащих пологих склонов, пригодных для орошения. Критерием оценки рельефа в данном случае могут служить технические нормы по проектированию оросительных систем, согласно которым предельной высотой подъема воды на колхозные участки орошения считается 35 м. Орошаемый участок может быть удален от реки или пруда не более чем на 1,5—2 км. По данным В. К. Жучковой (1954), увеличение глубин эрозионного расчленения на территории Воронежской области к югу и востоку сказывается на высоте подъема воды из прудов на участки орошения с 3,6—19 м на севере до 10—30 м на юге и 9,7—40,2 м на востоке, в бассейне Хопра. Таким образом, значительная глубина расчленения южной части Окско-Донской низменности обуславливает здесь развитие системы орошения преимущественно с механическим подъемом воды.

Не вполне удобен рельеф для строительства прудов на целинных землях Северного Казахстана, где в слабо выраженных логах трудно создать емкие пруды и приходится устраивать пруды-копани и лиманное орошение.

Роль рельефа в сельскохозяйственном производстве, безусловно, не исчерпывается его значением для решения перечисленных задач. По мере интенсификации сельскохозяйственного производства для снижения себестоимости его продукции потребуются еще более тщательный учет геоморфологических условий местности.

ГЕОМОРФОЛОГИЯ В КАРТОГРАФИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Рельеф как элемент ландшафта составляет основу почти всех общих географических и специальных карт. Его изображение должно быть особенно точным, так как во многих случаях топографическая карта служит основой для проектирования инженерных сооружений и создания специальных прикладных карт. Точность отображения рельефа важна еще и потому, что он косвенно помогает установить те черты географического ландшафта, которых нет на топографических картах. Например, по изображению форм песчаного рельефа можно судить о преобладающем направлении ветра на данной территории, по положению каров на склонах высоких гор — о направлении переноса снежных масс, по характеру береговой линии морей и озер — о размерах приливов и отливов.

На данных геоморфологического анализа основаны многие методы и приемы картографического исследования: метод орогеоморфологических схем и структурных линий, методы обобщения, выявление и отбор типичных деталей рельефа. Использование геоморфологического анализа при составлении карт позволило научно подойти к проблемам сохранения географического подобия изображаемых объектов, общего направления и характера генерализации, выбора шкал сечения, методам обобщения рисунка горизонталей.

Составление географических и топографических карт сопровождается разносторонним изучением рельефа —

его морфологии, развития, происхождения, возраста, связей с другими компонентами географической среды. Особенно важен генетический подход к изображению рельефа. Так, при составлении гипсометрической карты СССР большое внимание обращалось на рисовку горного рельефа — замыканий верховий долин, отображающих их эрозионное или каровое происхождение, угловатость в рисунке горизонталей гор сбросово-глыбового происхождения и т. п. На листах государственной карты масштаба 1 : 1 000 000 горизонталями впервые стали показывать грядовость песчаного рельефа.

Генетический подход к изображению рельефа выразился в увеличении количества условных знаков и внесмасштабных обозначений, отражающих генезис форм рельефа, а также во введении в некоторых случаях дополнительных горизонталей. В целом, по мнению картографов, на современных гипсометрических картах горизонтали получают значение не только линий, соединяющих точки равных высот, но и рисующих генетический тип рельефа.

На гипсометрических и даже общих географических картах отражается возраст рельефа. Он передается на карте главным образом степенью резкости или сглаженности рисунка расчленения. В некоторых случаях его можно передать также посредством целенаправленного отбора элементов ландшафта, количеством форм и выбором изобразительных средств.

Заметно различаются на общегеографической карте восточная, более древняя часть дельты Волги и западная, более молодая, мощная и жизнедеятельная. Эта возрастная разница частей дельты специально подчеркнута составителем различием формы проток и толщиной линии рукавов (западная молодая система рукавов показана более толстой линией).

Развитие рельефа передается на картах изображением форм его различных стадий. Это достигается рисунком горизонталей, разницей в расстояниях между ними, углом подвода горизонталей к изображаемым объектам, применением специальных обозначений (рис. 23).

На мелкомасштабных картах, где показ отдельных форм рельефа ограничен, его развитие выражают общим характером расчленения территории, например густотой, резкостью овражно-балочной сети, степенью освоения ею

водораздельных пространств. Таким образом, обычная гипсометрическая карта — важный источник как геоморфологических, так и самых разнообразных географических данных.

Геоморфологические исследования проводят на всех этапах создания карты: до начала и в период полевых

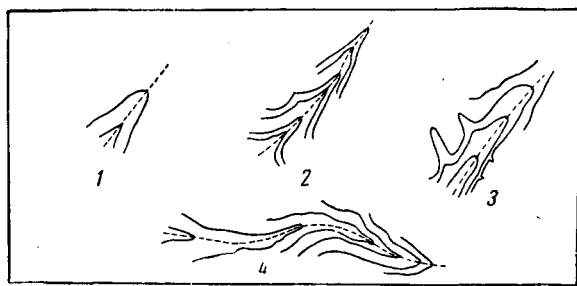


Рис. 23. Изображение оврагов на разных стадиях развития:

1 — вершина оврага в стадии глубинной эрозии, 2 — овраг в стадии глубинной эрозии и невыработанного продольного профиля, 3 — овраг в стадии горизонтальной эрозии, 4 — овраг с выработанным продольным профилем

топографических съемок крупного и среднего масштаба, в камеральный период при стереоскопической рисовке рельефа, в редакционно-подготовительный период по составлению мелкомасштабных гипсометрических карт и в период их составления.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПОЛЕВОМ РЕДАКТИРОВАНИИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ СРЕДНИХ И КРУПНЫХ МАСШТАБОВ

Впервые полевые географические исследования с целью улучшения качества топографических карт масштаба 1 : 100 000 и 1 : 200 000 стали проводиться с 1936 г. и в дальнейшем ежегодно сопровождали топографические съемочные работы в неисследованных и малонаселенных районах.

До начала полевых топографических работ географ собирает литературный и картографический материал о природе снимаемой территории, изучает аэрофотосним-

ки, а также проводит полевое маршрутное географическое обследование местности (одновременно с работами по плано-высотному обоснованию). Цель геоморфологических работ при этом состоит в выделении основных морфогенетических комплексов форм рельефа, которые должны быть отражены на карте, сборе материалов для изображения форм и элементов рельефа, а также в контроле рисовки рельефа. Результаты работ выражают в попланшетном географическом описании местности, орографических схемах, редакционных указаниях к проведению полевых топографических работ, эталонах дешифрирования на трудные для картографического изображения участки.

В географическом описании территории планшета характеризуется принадлежность рельефа к определенной орографической области, система расположения основных орографических единиц, происхождение рельефа, внешние особенности и типология его форм. Это описание должно содержать основные сведения о положении командных высот, о формах рельефа как естественных рубежах, расчлененности рельефа, форме и крутизне склонов, распространении микрорельефа. Текст сопровождают орографической схемой, специальной геоморфологической картой, профилями, блок-диаграммами, зарисовками, фотографиями характерных участков рельефа.

Орографические схемы и геоморфологические карты чаще составляют по группам планшетов и в более мелком масштабе, чем масштаб топографических съемок. При разнообразном и сложном для изображения рельефе эти работы целесообразно выполнять по отдельным планшетам.

Редакционные замечания к планшетам топографических съемок содержатся в описании рельефа, но, кроме того, они даются в виде специальных указаний. В них содержатся признаки, по которым определяются на местности те или иные объекты, а также даются рекомендации в отношении изображения рельефа, высот сечения, норм отбора форм рельефа и обобщения горизонталей, применения дополнительных горизонталей и условных знаков.

При стереоскопической рисовке рельефа внимание геоморфолога должно быть обращено на дешифрирова-

ние эталонов на типичные участки рельефа, а также на те из них, которые сложно рисовать стереоскопическим методом (плохо читаемые формы и элементы рельефа, затененные участки в горах, территории, покрытые снегом, льдом, густым высоким лесом, и т. п.). При дешифрировании эталонов горных залесенных территорий следует учитывать, что поверхность, образованная пологом леса, далеко не всегда параллельна земной поверхности. Положение этой поверхности зависит от высоты древостоя, которая определяется орографическими условиями, экспозицией склонов, почвами, их увлажнением и т. п.

В целом при стереоскопической рисовке постоянно анализируются взаимосвязи рельефа с остальными компонентами географической среды, так как рельеф обычно является ведущим признаком дешифрирования других природных объектов.

Собранный материал географ использует при редактировании полевых топографических съемок и составлении корректурных листов на каждый планшет.

Требования к изображению рельефа на топографических картах прикладного назначения. Во многих случаях крупномасштабные топографические съемки проводят одновременно с инженерными изыскательскими и поисковыми работами. Общие требования к содержанию и изображению рельефа на крупномасштабных топографических картах прикладного назначения сводятся к точности изображения рельефа, так как по картам крупного масштаба проводят измерения и расчеты; правильному показу особенностей рельефа, существенных для решения тех или иных практических задач. Это достигается главным образом целенаправленной генерализацией рельефа, соответствующим выбором сечений горизонталей, введением дополнительных горизонталей и выбором условных знаков.

В зависимости от назначения карты к ее содержанию должны предъявляться свои специфические требования. На топографических картах для проектирования различных инженерных сооружений прежде всего должны правильно показываться вертикальное и горизонтальное расчленение рельефа, уклоны, формы склонов, которые дают представление о сложности территории для проектирования железных дорог, каналов, водохранилищ и других сооружений. Следует также обратить внимание

На ориентировку форм и элементов рельефа, что способствует выявлению снегозаносимых участков дорог, участков, покрываемых песками, быстрее просыхаемых склонов и т. п.

При проектировании гидротехнических сооружений крупномасштабные топографические карты используются для подсчета емкости и размеров водохранилищ. Эти подсчеты могут быть точными только в том случае, если участки рельефа между двумя горизонталями имеют одинаковый уклон без перегиба, т. е. прямые склоны. В случае вогнутости склона между двумя горизонталями возможны ошибки в сторону уменьшения объема водохранилища, в случае выпуклости — в сторону преувеличения его объема. Это особенно следует учитывать при топографических съемках, сопровождающих проектирование водохранилищ на равнинных местностях, где между сечением горизонталей располагаются более длинные участки склонов, чем в горах. В целом чем меньше водохранилище, тем крупнее должен быть масштаб карты и меньше сечение горизонталей.

На топографических картах, используемых для проектирования инженерных сооружений, должны быть показаны и такие элементы, которые позволяют судить о степени динамичности рельефа, стадиях и направлении его развития. Например, для решения гидротехнических задач необходим показ двух береговых линий, отвечающих минимальному и максимальному уровням воды в водохранилище, верхней границы прибоя, который может разрушать хозяйственные объекты, аккумулятивных и абразионных форм морского побережья.

Так как для инженерных целей важно отметить возможность совместного действия процессов, начало перехода одного процесса в другой, то на топографических картах должны показываться некоторые внemasштабные детали рельефа: например, маленькие овраги у бровок подмываемых берегов, близ просадочных блюдеч, небольшие участки подмываемых берегов у подножия оползневых цирков и т. п.

При составлении топографических карт для геолого-поисковых целей необходимо обращать внимание на изображение форм и элементов рельефа, отражающих тектоническое и литологическое строение, структуру пород. При составлении топографических карт в районах

разведок современных русловых россыпей нужно проследить за правильностью изображения рельефа русла и низких террас, особенно кос, русловых валов, микроформ русла, в которых часто концентрируются россыпи. На топографические карты, предназначенные для поисков и разведок русловых россыпей, следует также нанести состав рыхлых пород русла и низкой поймы по существующей системе условных знаков — глыбы, валуны, песок, большее, чем обычно, количество абсолютных отметок по руслу, особенно при его неравномерном уклоне, два уреза реки — паводковый и меженный, дату съемки русла реки.

На картах, используемых для предварительного выбора прудовых чаш, должны быть показаны: типы верхний балок, пригодных для прудов, поперечные и продольные профили балок, от которых зависят размеры пруда и объем водной массы, степень естественной дренированности местности, характер замкнутых форм рельефа, которые могут способствовать заболачиванию и засолению территории. Необходимы также высотные отметки — для размещения магистральных распределительных каналов, организации самотечного орошения, расчета длины трубопровода при установке машинного подъема воды на орошаемые поля.

Продуманная, с учетом требований практики генерализация геоморфологических элементов топографических карт намного повышает их качество.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ГИПСОМЕТРИЧЕСКИХ КАРТ

Составление мелкомасштабных гипсометрических карт основано на генерализации рельефа, которая заключается в отборе наиболее существенных объектов для нанесения на карту и в обобщении изображаемых объектов в качественном и количественном отношениях.

На процесс генерализации большое влияние оказывает рельеф, определяющий постоянство или непостоянство шкал сечения, густоту сечения рельефа, необходимость дополнительных горизонталей. Рельеф обуславливает также числовые показатели нагрузки карты, характер допустимых обобщений в изображении его горизонталей-

ми. Все это требует выявления орографической структуры территории, классификации форм и типов рельефа, установления закономерностей в их размещении.

Основные геоморфологические работы по составлению гипсометрических карт мелкого масштаба проводятся в редакционно-подготовительный период.

Классификации рельефа для его изображения на картах. В отличие от крупномасштабных карт, где показываются отдельные формы и элементы рельефа, на гипсометрических картах мелкого масштаба передаются типы рельефа и его наиболее крупные формы. В этом случае необходима их типология и классификация.

Существующие классификации рельефа можно разделить на три основные группы: морфометрические, генетические и морфогенетические. Примером первой может служить классификация, принятая Г. Д. Рихтером в 1937 г. при составлении геоморфологической карты европейской части СССР в масштабе 1:2 500 000. В основу деления рельефа Г. Д. Рихтер положил принцип глубины и характера расчленения поверхности (относительных превышений высот на единицу расстояния). Согласно этому принципу типы рельефа разделены на шесть классов — от плоских равнин до высоких гор.

Достоинства этой классификации состоят в четкости характеристик рельефа по расчленению, количественной оценке расчлененности рельефа, постепенности перехода в значения амплитуд высот от класса к классу, что в большинстве случаев отвечает плавным переходам рельефа в естественных условиях. Морфометрическая классификация частично была использована при составлении гипсометрической карты европейской части СССР в масштабе 1:1 500 000, а также взята за основу методического руководства по изображению основных типов рельефа земной поверхности на картах.

Примером генетической классификации служит классификация рельефа И. С. Щукина (1946), который выделяет четыре основные группы типов рельефа: первично-тектонический, выработанный, аккумулятивный (построенный) и денудационно-аккумулятивный. Эта классификация позволяет оценивать картографируемый объект с точки зрения генезиса.

Наиболее широкое применение в картографии нашла классификация рельефа К. К. Маркова, принятая Инсти-

тутом географии АН СССР для карты геоморфологических районов СССР (1940). В основе ее лежит сочетание морфологического и генетического принципов с учетом регионального распространения морфогенетических типов рельефа. Эта классификация положена в основу гипсометрической карты СССР масштаба 1 : 2 500 000 (1949) и карт атласа СССР (1962).

Ни одна из указанных классификаций полностью не удовлетворяет картографическое производство и поэтому составление классификации рельефа для картографических целей — одна из важнейших задач геоморфологии. В основе ее должны быть положены морфологический, генетический и возрастной классификационные признаки.

Районирование рельефа. В редакционно-подготовительный период составляют описание рельефа с картосхемой геоморфологических районов. Эту работу проводят после классификации типов и форм рельефа картируемой территории и сопровождают методическими указаниями к их изображению.

Согласно требованиям мелкомасштабного картографирования при описании рельефа нужно отмечать основные типы и подтипы рельефа, горизонтальное расчленение территории, распространенные и редко встречающиеся формы рельефа, максимальные, минимальные абсолютные и другие высоты. Примерно такое содержание имела мелкомасштабная геоморфологическая карта европейской части СССР, составленная коллективом сотрудников Института географии АН СССР под руководством Г. Д. Рихтера. Рельеф территории характеризовался здесь с точки зрения его высоты, углов и направления преобладающих уклонов, изрезанности, количества вершин на единицу площади, т. е. данных, необходимых для составления топографических карт.

Схема районирования рельефа, сопровождающая его описание, не должна быть дробной и содержать более 5—6, а то и 3—4 районов.

Обобщение изображения рельефа. Если меняется значение и уменьшается масштаб карты, то картографируемые объекты обобщают. При обобщении рельефа используют геоморфологическое описание и районирование территории, учитывают особенности рельефа, типичные для карт разных масштабов.

Принцип обобщения рельефа сводится к двум положениям: обобщение должно не сглаживать различия рельефа, а, наоборот, подчеркивать их; обобщение не должно увеличивать расчлененности рельефа. Наиболее четкие различия в изображении рельефа помогает установить предложенный И. П. Заруцкой метод обобщения рельефа по структурным линиям. Этот метод состоит в предварительном нанесении на составительский оригинал карты «структурных линий» — водоразделов, долин рек, тальвегов, определяющих при обобщении горизонталей основное направление рисуемых форм. Особенно хорошие результаты этот метод даст при изображении структурного рельефа.

Для правильной передачи на карту расчленения рельефа необходимо его районирование, так как оно помогает выбрать типичную для каждого района густоту и глубину расчленения, а также рисунок горизонталей для изображения эрозионного рельефа.

Существуют следующие основные графические приемы обобщения горизонталей:

1. Смещение горизонталей на большую или меньшую высоту (например, 100-метровой горизонтали на 110-метровую). Этим показывается соответствующая глубина расчленения водоразделов, продольного профиля тальвегов (сдвиг горизонтали при пологом профиле тальвегов).

2. Снятие горизонталей, что также проводится с учетом характера обобщаемых форм рельефа. Те горизонтали, которые остаются на карте, должны иметь форму, характерную для большинства изображаемых ими форм рельефа.

3. Обобщение рисунка горизонталей, например, за счет объединения замкнутых горизонталей вершин гор, спрямления горизонталей на склонах (рис. 24).

Практическое использование этих приемов основано на хорошем знании геоморфологии района, так как, обобщая горизонтали, составитель имеет в виду изображение всей формы и даже типа рельефа.

Существующие приемы обобщения рельефа учитывают не только правильность изображения отдельных форм рельефа, но и крупных морфогенетических типов рельефа. При обобщении горизонталей равнинного эрозионного рельефа горизонтали обычно проводят по внешним

выступам их рисунка относительно падения ската, т. е. лощины и тальвеги включаются в междуречья. Для этого типа рельефа характерен ровный рисунок горизонталей с плавными изгибами. При изображении горного рельефа контуры мелких характерных форм нередко приходится обобщать в один общий контур. В рисунке замыкания горизонталей по гребню должен отражаться его поперечный профиль.

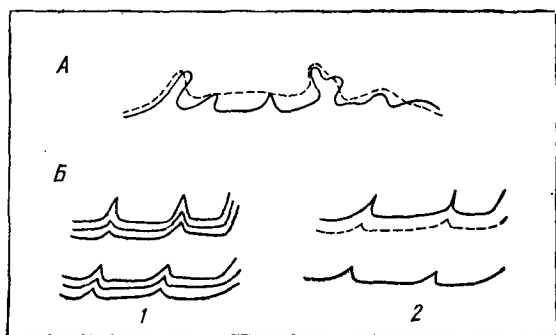


Рис. 24. Обобщение рисунка горизонталей: А — вогнутого склона; Б — террасированного склона:
1 — необобщенное изображение, 2 — обобщенное изображение

Классификация и районирование рельефа СССР по высоте его сечения. Один из основных этапов процесса генерализации рельефа — выбор шкалы сечения, правильно отражающей его характерные особенности. Для определения высоты сечения рельефа на топографических картах учитывают крутизну склонов, среднюю глубину и густоту расчленения рельефа. Крутизна склона в свою очередь зависит от типа рельефа (табл. 12).

При мелкомасштабном картографировании больших территорий с разнообразным рельефом применяют переменные шкалы сечений, которые устанавливают по крупным орографическим объектам. Перед выбором сечения выявляют те типичные особенности рельефа, которые могут найти отражение в разных масштабах карты. Это вызывает необходимость классификации особенностей рельефа по их значимости для отдельных орографических объектов.

Схема классификации рельефа суши по крутизне склонов
(по М. Ф. Срибному, 1956)

Общий характер рельефа		Рельеф водосбора	α	$\lg \alpha$
Равнины 0—7°	Равнинный (0—1°)	Плоский	0,25	0—0,005
		Равнинный Волнистый	0,5 1	0,01 0,02
	Холмистый (1—7°)	Увалистый	2	0,04
		Холмистый	4	0,07
		Сильнохолмистый	7	0,12
Горы 7—45°	Горный (7—24°)	Предгорный	12	0,21
		Гористый Горный	18 24	0,32 0,44
	Высокогорный (24—45°)	Высокогорный Высотный Островершинный	30 37 45	0,58 0,75 1,00

Для Урала, Кавказа и Западного Тянь-Шаня к особенностям первого порядка относятся те, которые отражаются на любой карте, — протяженность и абсолютная высота данной орографической единицы. Особенности второго порядка, например общий рисунок расчленения гор, полноценно изображаются на картах масштаба 1 : 2 000 000 и крупнее. Учитывая специфику рельефа Урала — его вытянутость в меридиональном направлении, асимметрию склонов, наличие долин меридионального и широтного направлений, ярусность рельефа, четковидный характер хребтов, — для его изображения на общегеографических картах масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 1 500 000 А. Н. Воронина (1951) предложила следующую шкалу сечения рельефа: 200—300—400—500—600—700—800—1000—1250—1500 м.

Основные особенности рельефа юго-западных Кызылкумов передаются горизонталями: 100 м — солончаки озерных впадин, 200 м — границы аллювиальной равнины и озерных впадин с плато и пролювиальными шлей-

фами гор, 400 м — горный цоколь и 600 м — вершинные части гор.

Таким образом, выбор шкалы сечения определяется рельефом картографируемой территории. Разработка полной классификации рельефа по его значимости для картографирования крупных орографических областей СССР позволит картографу-производителю при составлении карт отображать его детали в зависимости от назначения карты и степени генерализации, требуемой масштабом.

По высоте сечения рельеф территории СССР делят на четыре группы районов (для карт масштаба от 1 : 10 000 до 1 : 100 000):

1. Плоскоравнинные районы — центр Западно-Сибирской низменности (сечение рельефа от 2,5 до 20 м).

2. Равнинные, пересеченные и всхолмленные районы с преобладающими склонами до 6° — почти вся европейская часть СССР и север Сибири, среднее течение рек Алдана, Вилюя и других (сечение рельефа от 2,5 до 20 м).

3. Горные и предгорные районы, а также песчаные пустыни — Урал, Каракумы, Кызылкумы, Северное и Южное Прибалхашье, Средне-Сибирское плато и другие (сечение рельефа от 5 до 20 м).

4. Высокогорные районы — горы северо-востока СССР, Алтай, Памир, Тянь-Шань и другие (сечение рельефа от 10 до 40 м).

Геоморфология настолько широко используется при составлении карт, что уже сейчас можно говорить о важнейшем процессе составления карт — генерализации рельефа как новой отрасли, возникающей на грани картографии и геоморфологии.

* * *

*

Усложнение конструкций инженерных сооружений и техники ведения разведочных работ, хозяйственное использование земель со сложными условиями их освоения постоянно расширяет и часто меняет круг вопросов, проблем и методов прикладных геоморфологических исследований.

Новые прикладные геоморфологические проблемы будут определяться перспективными планами экономического и технического развития страны.

ЛИТЕРАТУРА

1, II, III главы

Бируля Л. К. Проектирование автомобильных дорог, изд. 4-е. М., Автотрансиздат, 1961—1962.

Геология россыпей. Сб. статей под ред. акад. В. И. Смирнова. М., «Наука», 1965.

Голов А. Е., Коломенский П. В., Смирнов Л. И. Вопросы унификации инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1964.

Гос М. и Веселы В. Трассирование дорог с учетом ландшафта. Пер. с чешского. М., Автотрансиздат, 1961.

Давидович В. Г. Планировка городов и районов. М., Стройиздат, 1964.

Девдариани А. С. Измерение перемещений земной поверхности. М., «Наука», 1964.

Егоров А. И. Пояса углеобразования и нефтегазоносных зон. Ростов-на-Дону, 1960.

Закономерности размещения полезных ископаемых, т. I—IV. М., Изд. АН СССР, 1958—1960.

Инженерно-геологические процессы и явления, их значение для строительства. М., Госстройиздат, 1963.

Ландшафтная архитектура. Сб. статей М., Гос. изд-во лит-ры по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963.

Леонтьев О. К. Основы геоморфологии морских берегов. Изд-во МГУ, 1961.

Марковский Н. И. Палеогеографические условия размещения крупных залежей нефти. М., «Недра», 1965.

Мещеряков Ю. Д. Структурная геоморфология равнинных стран. М., «Наука», 1965.

Основы поисков россыпей. Изд-во ЛГУ, 1961.

Поляков Н. X. Основы проектирования, планировки и застройки городов. М., Стройиздат, 1965.

Попов И. В. Инженерная геология. Изд-во МГУ, 1959.

Румянцев А. М. Регулирование использования водных ресурсов водохранилищ. М.—Л., «Энергия», 1966.

Сапожников Д. Г. К теории прогноза осадочных рудных месторождений. М., Изд-во АН СССР, 1961.

Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. М., «Недра», 1965.

Страхов Н. М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. Госгеолтехиздат, 1963.

Философов В. И. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. Саратов, 1960.

Якушова А. Ф. Методика структурно-геоморфологических исследований при поисках нефти и газа. «Вестник МГУ», вып. IV, сер. Геология, 1964, № 3.

IV, V главы

Арманд Д. Л. Значение геоморфологии для сельского хозяйства. «Вопросы географии», 1961, № 52.

Арманд Д. Л. Физико-географические основы проектирования сети защитных лесных полос. М., Изд-во АН СССР, 1961.

Буров Д. И. [и др.]. Общесельскохозяйств. М., «Колос», 1964.

Грацианский М. Н. Инженерная мелиорация. М., Изд-во лит-ры по строительству, 1965.

Дунин-Барковский Л. В. Физико-географические основы проектирования оросительных систем. М., Изд. МСХ СССР, 1960.

Заруцкая И. П. Методы составления рельефа на гипсометрических картах. М., Геодиздат, 1958.

Звонкова Т. В. Вопросы физико-географического районирования орошаемой зоны Средней Азии. «Вестник МГУ», 1964, № 1.

Мещеряков Ю. А. О требованиях к топографическим картам при геоморфологических исследованиях. Сб. «Исследование топографических карт при географических исследованиях». М., Изд-во АН СССР, 1958.

Мосолов В. И. Рельеф местности и вопросы земледелия. М., Сельхозгиз, 1949.

Подобсодов Н. С. Топографическое картографирование. М., Геодиздат, 1962.

Районирование территории СССР по основным факторам эрозии. М., «Наука», 1965.

Рябцева З. Г. Комплекс специальных карт, необходимых при проектных работах, и требования к ним. Сб. «География», ВИИПИ, М., 1963.

Глава I

Объект, методы и главные направления прикладных геоморфологических исследований	3
--	----------

Глава II

Геоморфологические исследования при поисках полезных ископаемых	17
Главные факторы образования экзогенных полезных ископаемых	19
Общие закономерности размещения экзогенных полезных ископаемых	26
Геоморфологические методы и приемы поисков экзогенных полезных ископаемых	36
Условия формирования россыпей и геоморфологические основы их поисков	56
Геоморфологические методы поисков нефти и газа	99
Элементы геоморфологических исследований при поисках магматических месторождений	114

Глава III

Инженерно-геоморфологические исследования	119
Рельеф, инженерные сооружения и методы исследования	120
Инженерные свойства и прогноз природных процессов	127
Устойчивость рельефа и определение по геоморфологическим данным инженерных свойств грунта	149
Об экономической оценке геоморфологических условий строительства и категориях строительной сложности рельефа	157
Изучение рельефа при проектировании дорог	161
Рельеф в проектировании гидротехнических сооружений	188
Оценка рельефа в градостроительных целях	204
Геоморфологические исследования для нужд судоходства, проектирования трубопроводов, портов и других сооружений	216

Глава IV

Изучение рельефа с сельскохозяйственными целями	219
Содержание работ и методы исследований	220
Качественная оценка земель	223
Оценка рельефа при орошении и обводнении территории	244

Глава V

Геоморфология в картографическом производстве	257
Геоморфологические исследования при полевом редактировании топографических карт средних и крупных масштабов	259
Геоморфологические исследования при составлении мелко-масштабных гипсометрических карт	263
Литература	270