

Дорогим Саше и Лиде с любовью
С. С. ВОСКРЕСЕНСКИЙ

ГЕОМОРФОЛОГИЯ РОССЫПЕЙ

Воскресенский С. С. Геоморфология россыпей. — М.: Изд-во МГУ, 1985, С ил., 208 с.

В учебном пособии освещены геоморфологические условия формирования россыпных месторождений. Рассматривается тесная связь образования, разрушения и захоронения россыпей с особенностями геоморфологического строения территории. Проводится анализ геоморфологических процессов и явлений, оказывающих решающее влияние на формирование россыпей.

*Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Московского университета*

Рецензенты:

доктор геол.-мин. наук *Г. П. Воларович*,
доктор геол.-мин. наук *Г. Ф. Крашенинников*

Введение

В рыхлых отложениях, имеющих аллювиальное, морское, озерное, склоновое, ледниковое, Эоловое, элювиальное происхождение, иногда обнаруживаются повышенные концентрации обломков некоторых минералов, представляющих интерес для промышленного использования. Эти скопления называются россыпями. Эти рыхлые отложения имеют в основном голоценовый, четвертичный или кайнозойский возраст, их образование связано с развитием земной поверхности и ее рельефом. Поэтому при поисках россыпей необходимо изучение геоморфологического строения территории, где они обнаруживаются. В специфических условиях земной поверхности «поведение» минералов, составляющих горные породы, таково, что они в определенных условиях концентрируются, а в других — рассеиваются. Россыпеобразование и есть возникновение концентраций некоторых минералов. Они возникают и на вершинных поверхностях междуречий, и в волноприбойной зоне морей и озер, и особенно на дне речных долин, где водные потоки наиболее тщательно сортируют материал разрушающихся горных пород.

Возникшие россыпи разрушаются. Они подвергаются размыву, теряют высокие концентрации. В других случаях россыпи перекрываются вновь формируемыми рыхлыми отложениями, т. е. захораниваются. Происходит это разрушение и захоронение при определенном направлении развития рельефа. Исходный материал россыпей чаще всего связан с рудами — коренными источниками, образующимися глубоко в земной коре. Оттуда рудный материал может попасть в россыпь лишь после того, как он окажется на поверхности земли, т. е. коренной источник должен быть выведен на поверхность. Вскрытие коренного источника может произойти только в результате срезания толщ горных пород, прикрывающих рудные тела. Срезание — денудация — служит одним из объектов исследования геоморфологов, в том числе и при изучении россыпей.

Таким образом, формирование, сохранение или разрушение россыпей и вскрытие их коренных источников подчинены законам геоморфологии. Рассмотрению этих закономерностей в аспекте поисков россыпей и посвящена данная книга.

Принимая, что объектом геоморфологии являются строение, происхождение, история развития и современная динамика рельефа земной поверхности, как это делают О. К. Леонтьев и Г. И. Рычагов (1979), мы считаем, что все процессы перемещения вещества на поверхности литосферы так или иначе входят в сферу интересов геоморфологов. Изменение рельефа поверхности литосферы не может происходить без перемещения образующих ее частиц горных пород. В противоположность сказанному иногда приходится слышать мнение о том, что сочетание слов «геоморфология россыпей» не содержит вну-

тренней логики. Действительно, если считать, что геоморфология изучает рельеф поверхности литосферы только как сочетание разнообразных граней и ребер, то в задачу геоморфолога будет входить изучение рельефа поверхностей россыпей, что в самом деле лишено смысла. При понимании же задач геоморфологии так, как было сказано в предшествовавшем абзаце, понятие «геоморфология россыпей» становится вполне определенным.

Закономерности развития рельефа поверхности литосферы служат вместе с тем и закономерностями образования россыпей. При перемещении вещества водными потоками, водами морей и озер, в результате волноприбойной деятельности, преобразовании элювия при разных формах сноса продуктов разрушения создаются повышенные концентрации некоторых минералов, обладающих определенными свойствами. При определенном взаиморасположении поднимающихся и опускающихся блоков земной коры происходит усиление или ослабление деятельности указанных экзогенных агентов или коренное изменение направления их деятельности. Образование россыпей сменяется их захоронением или разрушением. На место агентов, создающих россыпи, могут встать россыперазрушающие агенты.

Таким образом, при изучении какого-либо района с целью оценки его перспективности при поисках россыпей перед геоморфологом стоит задача реконструкции истории развития рельефа: исследование субстрата, движений земной коры, экзогенных агентов в их сочетаниях во времени. Все это запечатлено в той или иной мере в форме рельефа земной поверхности и коррелятных им рыхлых отложениях. В данной работе рассмотрение ведется безотносительно к какой-либо конкретной территории.

Решение задач, которые поставили перед собой авторы, может быть сделано не всегда удачно по различным субъективным и объективным причинам. Однако авторы старались в меру сил не защищать идеи, которые им импонируют, и не забывать об альтернативных представлениях.

В начале работы изложены общие данные о россыпях. Далее говорится о коренных источниках россыпей, рассмотрены их вскрытие и разрушение, охарактеризованы россыпи междуречий и склонов. Основная часть работы посвящена аллювиальным россыпям, поскольку именно они имеют главное значение. Приводятся сведения о деятельности ледников и талых ледниковых вод. Описаны россыпи, которые своим возникновением обязаны деятельности моря. Рассмотрено влияние карстовых и эоловых процессов на образование россыпей. Главы 1—15, 18 и заключение написаны С. С. Воскресенским. Главы 16 и 17 — Е. И. Игнатовым.

Глава 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РОССЫПЯХ

Россыпью называется рыхлая или сцементированная обломочная горная порода, содержащая в обломках тот или иной полезный компонент. Традиционно не принято считать за россыпи горные породы, всей своей массой являющиеся полезным ископаемым. Само слово «россыпь» говорит о том, что зерна полезного компонента как бы «рассыпаны» среди зерен пустой породы и составляют лишь ее весьма незначительную часть.

К этому определению понятия «россыпь» следует добавить, что полезный компонент составляет лишь малую часть общего объема горной породы, представляющей собой россыпь, и вместе с тем его концентрация повышена по сравнению с другими аналогичными обломочными горными породами настолько, что при современных технических средствах становится возможным выделить нужный компонент и передать его для использования в народное хозяйство.

Обычно с названием «россыпь золота» или «россыпь алмазов» связывается представление как о чем-то бросающемся в глаза, ярком, эффектным, а возможно, и красивом. Это не совсем так. *Золотая россыпь* — это грязный иловатый галечник. Даже в богатой россыпи на $999\,999\text{ см}^3$ пустой породы золота приходится всего 1 см^3 , а в обычной промышленной россыпи — в десятки раз меньше. Золота в россыпи совершенно не видно, и без промывки находка золотинок даже в богатой россыпи — очень большая редкость.

И в *алмазной россыпи* алмаза тоже нельзя увидеть. Даже после промывки в лотке и удаления $99,99\%$ пустой породы увидеть алмаз все равно нельзя, практически он виден только при облучении рентгеновскими лучами.

Но не всегда так прозаично. Например, в *россыпи ильменита* последний уже виден и без обогащения. В *россыпи пьезокварца* (горного хрустала) видны его «спутники» — некондиционные, но крупные кристаллы кварца, включающие вредные примеси, трещиноватые или не обладающие вполне правильной кристаллической решеткой.

По содержащемуся в них полезному ископаемому россыпи разнообразны. К наиболее распространенным относятся россыпи золота, алмазов, олова (касситерита), титана (титансодержащих минералов — ильменита, рутила, лейкоксена), платины, циркона, тантало-ниобатов (колумбит, пирохлор, танталит, эвксенит, лопарит), вольфрама (вольфрамит и шеелит), редкоземельных минералов (монацит, ксенотим), пьезокварца (горного хрустала), различных драгоценных и полудрагоценных камней, в том числе янтаря, опала, халцедона.

Многие россыпи комплексные: олово-вольфрамовые, титано-циркониевые и т. д. В ряде случаев кроме основного минерала обнаруживается и другой полезный минерал. Например, в некоторых россыпях ильменита кроме титана в значительном количестве встречается ва-

надий. Тогда россыпь ильменита становится в основном «ванадиевой», а не «титановой».

Со временем возрастает разнообразие промышленно используемых россыпей и меняется их значение. Раньше разрабатывались россыпи золота, алмаза, драгоценных камней. Теперь же можно насчитывать не менее сорока полезных компонентов, извлекаемых из россыпей. Очевидно, в дальнейшем увеличится разнообразие минералов, извлекаемых из россыпей.

Из россыпных месторождений добывается значительная доля таких минералов, как золото, касситерит, алмаз, пьезокварц, титаносодержащие, циркон, платина. По сравнению с добычей из скальных горных пород добыча из россыпей намного проще и требует меньше затрат труда. Природа как бы сама совершила часть работы: раздробила горную породу, а во многих случаях произвела и «предварительное обогащение». Поэтому экономически целесообразно разрабатывать россыпи, например золота, с содержаниями в несколько раз более низкими, чем в скальной горной породе.

Немного о терминологии, употребляемой в россыпном деле. «Содержание» — это процент полезного компонента в породе, делающий ее ценной для промышленности. Есть понятия «содержание промышленное», промышленное содержание «на пласт» и «на массу». Содержания могут быть и непромышленные, но представляющие интерес при разведке и поисках россыпей. Если из полученной породы удастся выделить такое количество полезного минерала, которое можно взвесить, а вес выразить в миллиграммах (для золота) или граммах (для касситерита), то в материалах по поискам и разведке отмечается «весовое содержание». Оно указывает на повышенную, по сравнению со средней, концентрацию того или иного минерала — полезного компонента. Есть понятие «знаковое содержание», когда в пробе породы отмечаются отдельные зерна полезного компонента, количество его явно не промышленное.

Толща отложений с промышленными содержаниями полезного компонента называется «пески». Хотя литологически это может быть и не песок, а галечник. Лежащие выше песков толщи с непромышленными содержаниями, или пустые, называются «торфа» (рис. 1.1).

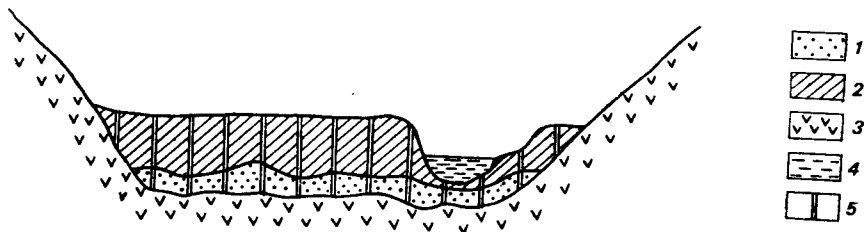


Рис. 1.1. Соотношения песков и торфов по разрезу через пойму золотоносной долины:

1 — пески; 2 — торфа; 3 — коренные породы; 4 — сечение меженного русла; 5 — буровые скважины

Литологически это суглинки, супеси, пески, гравий и даже галька. При сплошной добыче идут в работу и сравнительно бедные «торфа» с «убогим», т. е. недостаточным, содержанием. При отдельной добыче в промывку идут только пески. Употребляется понятие «борт», т. е. боковая граница россыпи, где содержание падает до предела промышленного. «Струя», «гнездо» — это участки с наиболее высокими

содержаниями полезного компонента. Если они вытянуты полосой — это «струя», а если образуют замкнутый, не вытянутый контур — «гнездо».

Для возникновения россыпи необходимы определенные предпосылки. Коренной источник должен оказаться на земной поверхности. Например, золотоносная кварцевая жила, образовавшаяся на глубине 1—3 км от поверхности, должна быть выведена на поверхность земли. Для этого блок земной коры должен быть поднят и агенты денудации должны разрушить и снести прочь толщи горных пород, лежащие над кварцевой жилой. Денудация толщ, скрывающих источник, разрушение самого коренного источника, сепарация происходят в некоторых определенных физико-географических и геоморфологических условиях, на которые влияют и тектонический и физико-географический факторы.

Возникшие россыпи ждет разная судьба. Некоторые россыпи разрушаются — происходит размыв, переотложение и уменьшение концентрации полезного компонента (разубоживание). При неоднократном разубоживании россыпь уничтожается. Может случиться, что процесс образования россыпи будет состоять из нескольких ступеней. Возникшая россыпь разрушается, но при этом происходит дальнейшее обогащение. Первоначальная россыпь, нередко очень бедная, служит промежуточным коллектором. Такой путь возникновения богатых россыпей наблюдается довольно часто. Возникновение же россыпей не за счет промежуточных коллекторов, а непосредственно за счет размыва коренного источника встречается редко. Схема образования россыпи показана на рис. 1.2.

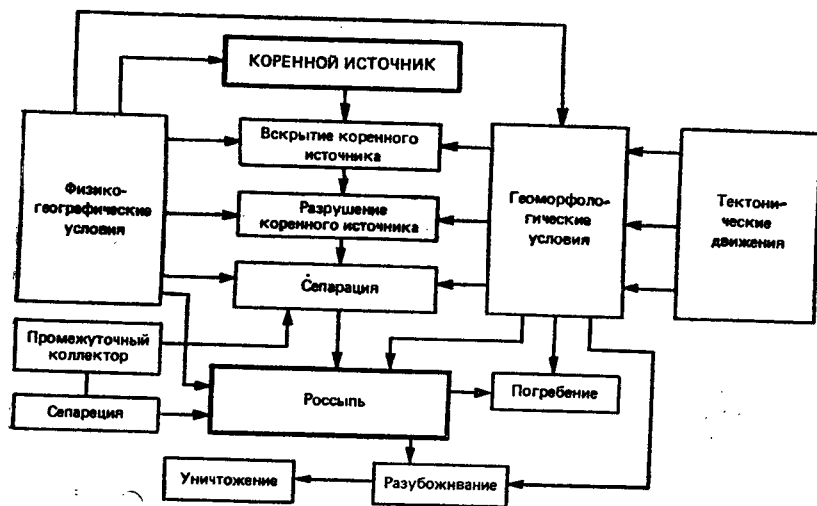


Рис. 1.2. Схема образования россыпей

Коренные источники могут быть богатыми, сосредоточенными в небольшом объеме и потому сами по себе представлять месторождение. Но нередко бывает и так, что коренной источник рассредоточен по множеству рудопроявлений, расположенных хотя и недалеко друг от друга, но все же разобщенных участками, сложенными «пустой» породой. Коренными источниками могут быть и крайне бедные рудопроявления, не представляющие сами по себе никакого промышленно-

го интереса. Однако, будучи расположены в толще горных пород, сносимых при денудации на ограниченную площадь, они также могут дать начало богатым россыпям.

Коренные источники обычно формируются на глубине в сотни метров и первые километры от земной поверхности. Но и самые крупные и богатые коренные источники не могут дать россыпей, если они будут не только вскрыты, но и в значительной мере срезаны денудацией. Необходимы определенные геоморфологические условия и время, чтобы денудационный срез захватил толщу породы, большую, чем глубина формирования источника.

Величина денудационного среза, т. е. объем переработанных денудацией горных пород, во многом определяет количество полезного компонента, перешедшего из коренного источника (источников) в россыпь. Поэтому оценка денудационного среза, прежде всего тех толщ, в которые включены продуктивные тела коренных источников, крайне важна при анализе территории с целью поисков россыпей. Различие в величине денудационного среза при близкой глубине расчленения хорошо видно на рис. 1.3. Кроме того, и при наличии бога-

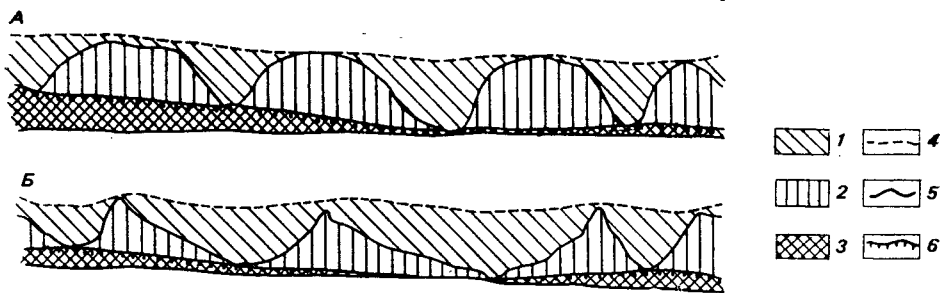


Рис. 1.3. Различие в величине денудационного среза при равной глубине расчленения:

1 — денудационный срез; 2 — горные породы выше поверхности, соединяющей тальвеги эрозионных форм — остаточный объем; 3 — горные породы ниже поверхности, соединяющей тальвеги эрозионных форм (цоколь рельефа); 4 — исходная выровненная поверхность; 5 — поверхность литосферы; 6 — поверхность, соединяющая тальвеги эрозионных форм (подошва пласта эрозий)

тых коренных источников, и при оптимальном денудационном срезе россыпь не возникает, если не будет необходимых условий для сепарации — сортировки материала, концентрации полезного компонента и удаления частиц пустой породы.

Необходимость для образования россыпей большого и богатого коренного источника, достаточного, но не чрезмерного денудационного среза ни у кого не вызывает сомнений. Значение условий россыпеобразования оценивается различно. При наличии оптимального вскрытия крупного коренного источника во многих случаях россыпь может не образоваться. Например, не может быть россыпей при селевом режиме горных потоков; при малом углублении долин за неоген-четвертичное время; в условиях пустынного климата со спорадическим действием водотоков. Обстановка для россыпеобразования часто складывается так, что иногда и не очень большой коренной источник может дать ценную россыпь с высоким содержанием, а крупный источник отдаст свой полезный компонент в весьма мощную констративную толщу аллювия со значительным поперечным сечением. В результате получается, что количество полезного компонента в аллювии большое, но содержания не достигают промышленных величин.

Перечень условий, исключаящих образование россыпей велик. Характеризуя месторождения в горах Средней Азии и Кавказа, В. Т. Матвеевко (1968) пишет: «Незначительная роль здесь россыпей объясняется в первую очередь неблагоприятными геоморфологическими условиями россыпеобразования».

Сортирующих (создающих россыпи) агентов несколько, главные среди них следующие: а) водный поток (река, ручей); б) движение воды в водном бассейне, в основном волновое; в) движение льда и талых ледниковых вод; г) перемещение частиц ветром; д) выветривание и склоновые процессы. Это те же агенты, которые создают и большинство экзогенных форм рельефа. Отсюда видна связь между рельефообразованием и образованием россыпи, и возникает необходимость знания геоморфологии для изучения россыпей.

Все россыпеобразующие минералы отличаются устойчивостью в условиях земной поверхности. Прежде всего необходимо, чтобы минерал, образующий россыпь, мог противостоять процессам химического выветривания. Даже мелкие частицы золота, платины, касситерита, алмаза долго сохраняются в условиях гипергенеза. Они, а в несколько меньшей степени и другие россыпные минералы, растворяются крайне медленно, не подвержены гидролизу и гидратации, не окисляются, не ожелезняются. Устойчивы к химическому выветриванию и нерудные россыпные минералы — горный хрусталь, опал, халцедон, янтарь.

Важны такие свойства, как способность противостоять физическому выветриванию и механическая прочность. В разной степени ими обладают почти все россыпные минералы. Благодаря механической прочности и устойчивости к выветриванию в условиях дневной поверхности сохраняют крупные размеры кристаллы горного хрусталя. Вследствие своих относительно крупных размеров среди материала кор выветривания и происходит концентрация кристаллов горного хрусталя. Кроме повышенной прочности почти все россыпные минералы отличаются высоким удельным весом. Именно благодаря высокому удельному весу в ходе перемещения происходит их концентрация.

С течением времени поиски, разведка и разработка россыпей постепенно изменяются. С применением различных механизмов в эксплуатации вовлекаются все более бедные по содержанию россыпи. Но механизация требует больших объемов горной массы россыпей, наличия дорог и линий электропередач. Раньше прекращение разработки какой-либо россыпи и перенесение добычных работ на новое место не вызвали особенно крупного материального ущерба. Теперь это мероприятие весьма болезненное.

Существенное значение приобрели поиски россыпей в аллювии погребенных врезов, погребенных россыпей в бортах современных долин и в пределах внутригорных и предгорных впадин. Россыпи принадлежат как к очень древним, так и к молодым этапам геологической истории. Есть россыпи докембрийские, приуроченные к метаморфизованным кристаллическим сланцам. Таковы знаменитые южноафриканские россыпи Витватерсранда. Есть россыпи, образовавшиеся в ходе разрушения горных сооружений каледонского, герцинского и мезозойского возраста. Все они в большей или меньшей степени были уплотнены и превращены в твердые скальные горные породы. Лишь молодые породы, возникшие при разрушении горных хребтов в эпоху неоген-четвертичной тектонической активизации (альпийской эпохи тектогенеза), оказываются рыхлыми. По предложению В. С. Трофимова (1967), россыпи разделяют на современные, древние и ископае-

мые. Последние представлены докайнозойскими метаморфизованными или сильно измененными в результате диагенеза горными породами. Это в основном конгломераты, гравелиты и грубозернистые песчаники. Под древними понимаются россыпи, связанные с рыхлыми отложениями, уже закончившими свое формирование. Это галечники, гравий и редко пески.

Почти повсеместно констатируются очень глубокие эрозионные врезы, предшествовавшие отложению верхнеплиоценовых и среднечетвертичных отложений. К ним нередко приурочены значительные россыпи. В большинстве случаев выясняется, что современные, голоценовые или верхнечетвертичные россыпи формируются за счет размыва плиоценовых, нижнечетвертичных и среднечетвертичных россыпей, служивших промежуточными коллекторами.

Разделение россыпей по возрасту имеет важное значение. Еще важнее их различия по происхождению. По генезису россыпи разделяются на элювиальные, делювиальные, аллювиальные, морские, ледниковые, флювиогляциальные и золовые. Промышленное значение их не одинаково. Не менее 80—90% промышленных россыпей, разрабатываемых или разрабатывавшихся на земном шаре, сформировано реками, т. е. приурочено к аллювию. Это заставляет обратить особое внимание на рассмотрение аллювиальных россыпей.

Из остальных генетических типов наибольший интерес представляют, пожалуй, морские и элювиальные россыпи. Например, известны древние промышленные морские титановые и цирконовые россыпи на Украине и в Западной Сибири, морские россыпи алмазов в Южной Африке.

Можно разделить россыпи и рассматривать их в зависимости от содержащегося в них полезного компонента, т. е. последовательно характеризовать золотые, алмазные, оловянные, пьезокварцевые россыпи и т. д. Учитывая перечисленные выше варианты деления россыпей, называя какую-либо россыпь, всегда следует указывать все три признака: возраст, генезис, минерал. Например, «меловая морская россыпь ильменита» или «неогеновая аллювиальная россыпь алмаза».

В дальнейшем рассмотрение строения, происхождения и уничтожения россыпей мы будем вести исходя из деления их по генетическому признаку. При этом приходится останавливаться на особенностях россыпей различных минералов и на времени формирования коренных источников. Это сделано согласно традиции, сложившейся в литературе, посвященной россыпям.

В становлении учения о россыпях особое место занимают работы Ю. А. Билибина. В 1938 г. вышла в свет книга, в которой сведены все данные, которые к этому времени были собраны в ходе поисков и добычи полезных ископаемых из россыпей. Называя книгу «Основы геологии россыпей», Ю. А. Билибин говорит, что в ней сделана попытка определить объем и содержание той отрасли геологических наук, которая может быть выделена под названием *учения о россыпях*.

Геоморфология россыпей имеет тот же объект исследования, т. е. россыпи. Но в отличие от Ю. А. Билибина мы считаем правильным рассматривать учение о россыпях как один из разделов геоморфологии там, где последняя ставится на службу непосредственным запросам производства. Ю. А. Билибин понимал глубокую внутреннюю связь между учением о россыпях и геоморфологией. Он писал, что «... связь россыпей с определенными элементами рельефа обусловлена тем, что россыпи обязаны происхождением именно тем процессам, ко-

торые являются основными и для выработки рельефа...» Мы, конечно, не можем обойтись без рассмотрения строения россыпи. Но основное внимание мы все же сосредоточиваем на закономерностях формирования долины и аллювия — движении вещества земной коры. Мы не мыслим геоморфологию без изучения рыхлых отложений, без изучения новейших неоген-четвертичных тектонических движений, без изучения всей ландшафтной обстановки и ее развития в историческом плане.

Глава 2

КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ РОССЫПЕЙ ЗОЛОТА

Геологическое строение, металлогенная обстановка и коренные источники россыпных минералов

Распределение золота в земной коре

Классификация рудопроявлений золота

Гидротермальные коренные источники золотых россыпей

Скарновые (контактово-метасоматические) коренные источники золотых россыпей

Геоморфологические особенности территорий с коренными источниками россыпей золота

Районы золотодобычи

Использование данных о коренных источниках для поисков россыпей

Основные выводы

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, МЕТАЛЛОГЕННАЯ ОБСТАНОВКА И КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ РОССЫПНЫХ МИНЕРАЛОВ

Для разных россыпеобразующих минералов геологические условия образования коренных источников не одинаковы. Металлогенная обстановка, в которой находятся коренные источники золота и платины, олова и титаносодержащих минералов, циркона и колумбита, пьезокварца и алмаза и других минералов, существенно отличается. Методика оценки коренных источников россыпей выработана в основном на примере коренных месторождений золота. К тому же россыпи золота по масштабам добычи резко выделяются среди всех других россыпей. Эти две причины заставляют отвести рассмотрению коренных источников россыпей золота первое место.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛОТА В ЗЕМНОЙ КОРЕ

Золота в земной коре мало, его кларк $5 \cdot 10^{-7}\%$, т. е. в среднем 0,005 мг/т. В пределах месторождений и рудопроявлений концентрация его в горных породах увеличивается в сотни тысяч раз, достигая 10—100 г/т, а на отдельных узко ограниченных участках месторождений содержание золота доходит до нескольких килограммов на тонну.

О. Е. Звягинцев (1941), Л. Арнс (1965) и многие другие исследователи считают, что, обладая высоким коэффициентом ионизации, золото инертно и не входит ни в какие корреляционные связи с другими элементами. Встречается золото только в самородном состоянии и в смеси с рядом вполне определенных элементов в виде твердого раствора.

Высокий удельный вес золота заставляет предполагать, что оно должно быть свойственно породам больших глубин — породам «базальтового» слоя земной коры и верхней мантии. Концентрация золота в горных породах, образованных железистомагнезиальными минералами (оливин, пироксен), составляет в среднем 16—4 мг/т, а в средних и кислых породах — 5—3, в кварцитах — 1,7 мг/т и меньше. Ультраосновные породы содержат в среднем около 21,3 мг/т, а в некоторых плутонах — 50 мг/т. Содержание золота в гипербазитах может достигать 100, а местами и 1300 мг/т. В диоритах и гранитах содержание золота в общем значительно ниже. В среднем содержание золота в гранитоидных породах 2—4 мг/т.

В двух близко расположенных гранитоидных массивах, граниты которых практически не различаются по химическому и петрографическому составу, средние содержания золота могут отличаться на порядок. В зоне эндоконтакта происходит резкое нарастание средних содержаний золота (рис. 2.1).

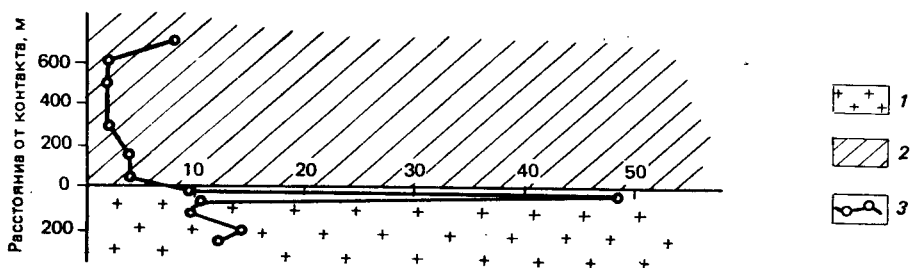


Рис. 2.1. Изменение содержания золота вблизи контакта:
1 — граниты; 2 — осадочные породы; 3 — содержание золота, мг/т

В осадочных породах распределение тонкодисперсного (менее 0,1 мм) золота крайне неравномерно: от 1 мг/т и менее до 1000 мг/т в некоторых лигнитизированных или ожелезненных глинах. В осадочных породах (песчаниках, алевролитах), особенно содержащих сульфиды (пирит, пирротин, марказит), вблизи гранитоидных интрузий наблюдаются содержания 2—10 мг/т. Среднее содержание для отложений на дне некоторых морей: для песков — 1,1, алевритов — 5,1, пелитов — 6,9 мг/т.

Таким образом, содержание золота в горных породах в тысячу раз меньше, чем промышленное содержание в рудах, используемых промышленностью. Для образования россыпей кроме высоких содержаний необходимо еще, чтобы золото содержалось в породе в виде достаточно крупных частиц, не мельче 0,2—0,1 мм в поперечнике. Между тем в подавляющем большинстве случаев частицы золота, обнаруживаемого в горных породах, имеют гораздо меньшие размеры. Следовательно, наряду с низкими содержаниями образование россыпей при разрушении и перетолжении горных пород затрудняется и малыми размерами золотинок. Только при достаточной величине частиц может сказаться высокий удельный вес россыпного минерала. Горные породы коренного источника должны содержать золото в виде относительно крупных выделений — золотинок.

КЛАССИФИКАЦИЯ РУДОПРЯВЛЕНИЙ ЗОЛОТА

Имеется множество классификаций эндогенных золоторудных образований. Наиболее логична и в то же время сравнительно проста

классификация («систематика»), предложенная Н. В. Петровской (1973), которая делит золоторудные образования прежде всего по системе рудных формаций (по типам металлогенических поясов) на золото-сульфидно-кварцевые и существенно сульфидные (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Систематика эндогенных золоторудных образований
(по Н. В. Петровской, 1973, с сокращениями)

| Системы рудных формаций (по типам металлогенических поясов) | Формация месторождений | Формация руд | Тип руды, зависящий от региональных геохимических особенностей |
|--|--|-------------------------------|---|
| Золото-сульфидно-кварцевые (на мощной континентальной коре с магматизмом сиалического типа) | <i>больших глубин</i> (3—6 км); в складчатых областях в связи с крупными синорогенными массивами гранитоидов | малосульфидная | золото-железистый золото-мышьяковый |
| | <i>средних глубин</i> (1,5—2,5 км); в складчатых областях в связи с куполами синорогенных массивов гранитоидов и областях глыбовых деформаций в поясах малых интрузий и даек (поздний этап геосинклинального типа) | умеренно-сульфидная | золото-железистый золото-мышьяковый золото-полиметаллический золото-висмутный |
| | <i>малых глубин</i> (1 км); в областях проявления поздней послеплатформенной активизации в прогибах и грабенах, нередко в связи с вулканогенными поясами | убого-сульфидная | золото-серебряный золото-серебряно-сурьмяный, иногда с мышьяком золото-серебряный полиметаллический золото-серебряно-марганцевый |
| Существенно сульфидные (на утонченной континентальной коре, океанической коре с магматизмом базальтоидного типа) | <i>малых и частью средних глубин</i> (1—1,5 км); в эвгеосинклиналях с малыми интрузиями липарит-базальтового и андезитового состава | колчеданная полиметаллическая | золото-медноколчеданный золото-барит-полиметаллический медно-свинцово-цинковый с золотом и др. |
| | <i>средних глубин</i> (2—2,5 км); в областях активизации платформ в связи с базальтовыми излияниями | медно-никелевая | платино-медно-никелевый |
| | <i>больших глубин</i> (3—10 км); в области завершающих этапов орогенеза и тектонической активизации платформ | медно-никелевая | золотоносный медно-никелевый |

Последние подразделяются на формации малых, средних и больших глубин. Как коренные источники для образования россыпей главный интерес представляют золото-сульфидно-кварцевые формации, формирующиеся на больших (3—6 км и более) и средних (1,5—2,5 км) глубинах. Они обычно связаны с синорогенными гранитоидными массивами и поясами малых интрузий. Эти коренные источники и отличаются крупным размером частиц золота (более 0,1 мм).

Имеются и другие классификации золоторудных образований. По И. Г. Магакьяну (1969) (следующему в основном за Шнедерхеном, Линдгреном и Эммонсом), главное промышленное значение имеют несколько видов месторождений.

1. Высокотемпературные гипотермальные (гидротермальные) золото-арсениопиритовые и золото-кварцевые месторождения. Золото частично связано с арсениопиритом, пиритом и другими сульфидами. Подобного рода месторождения имеются в Бразилии, Индии, Канаде. Золото гипотермальных месторождений высокопробное — 900.

2. Среднетемпературные (мезотермальные) гидротермальные (также золото-кварцевые) месторождения. Здесь кварцевые жилы пронизывают осадочные породы вблизи крупных массивов гранитоидов, но не непосредственно у контактов, а на расстоянии 0,3—5 км от них, и особенно в кровле интрузий (часто таковые срезаются денудацией). Обычные температуры формирования этих жил 320—200°. Кроме кварца в жилах отмечаются карбонат (немного), пирит, барит, халькопирит, сфалерит, галенит. Отчасти золото включено в сульфиды, но главным образом самородное. За рубежом к среднетемпературным относятся месторождения и рудопроявления, давшие начало богатейшим россыпям Калифорнии и Австралии. Таковы, в частности, месторождения Бендиго и Балларт в Австралии. Пробность золота в мезотермальных месторождениях 850—650.

3. Низкотемпературные (эпитермальные золото-кварц-кальцитовые). Они обычно связаны с областями широкого распространения меловых, палеогеновых и неогеновых вулканитов. Оруденение здесь часто неравномерное — боианцевое (кустовое). В рудах преобладают халцедоноподобный кварц и кальцит. Часть эпитермальных месторождений является одновременно и серебряными. Эпитермальные месторождения в значительной мере приурочены к Тихоокеанскому вулканическому поясу. Пробность золота здесь невысокая (650—500). Золото по большей части мелкое, очень мелкое и пылевидное, вследствие чего россыпей не образует или же образует небольшие, быстро разубоживающиеся россыпи.

4. Железные и свинцовые шляпы сульфидных месторождений, богатые сульфидами, и скарны. Значение этих рукопроявлений для образования россыпей несколько меньше, чем гидротермальных кварцевых жил.

Таким образом, в образовании россыпей главную роль играют мезотермальные месторождения, т. е. несколько различающиеся по характеру кварцевые жилы и зоны окварцевания (рис. 2.2). Меньшее, но все же важное значение имеют метасоматические — различные скарны, зальбанды интрузий.

Как особый тип (пятый по И. Г. Магакьяну) стоят метаморфогенные месторождения и рудопроявления золота. Это часто те же месторождения, что и перечисленные выше, но после образования испытывавшие на себе мощное воздействие температур и давления. Существенно, что в их число входят древние метаморфизованные россыпи. Среди последних находится крупнейшее в мире месторождение золота — Витватерсранд.

Следует отметить классификации, предложенные А. И. Тимофеевским, Г. П. Воларовичем, П. Ф. Иванкиным, И. С. Рожковым.

Л. В. Фирсов и Н. А. Шилов выделяют следующие золотоносные формации и типы рудных месторождений золота.

I. Дайковая формация

1. Дайковый тип месторождений. Дайки, пронизанные кварцевыми жилами. Золото в кварце. Иногда в породах даек.

2. Околодайковый тип месторождений. Золотоносные кварцевые жилы группируются вблизи даек, лишь частично в самих дайках.

II. Кварцевожилная формация

3. Кварцевое прожилкование по зонам, испытывавшим до этого метасоматическое преобразование.

4. Межслойные кварцевые седловинные жилы.

5. Кварцевые жилы и прожилки пронизывают слои малопластичных песчанков, заключенных между слоями алевролитов или аргиллитов.

6. Единичные крупные кварцевые жилы вдоль контактов осадочных пород различного состава.

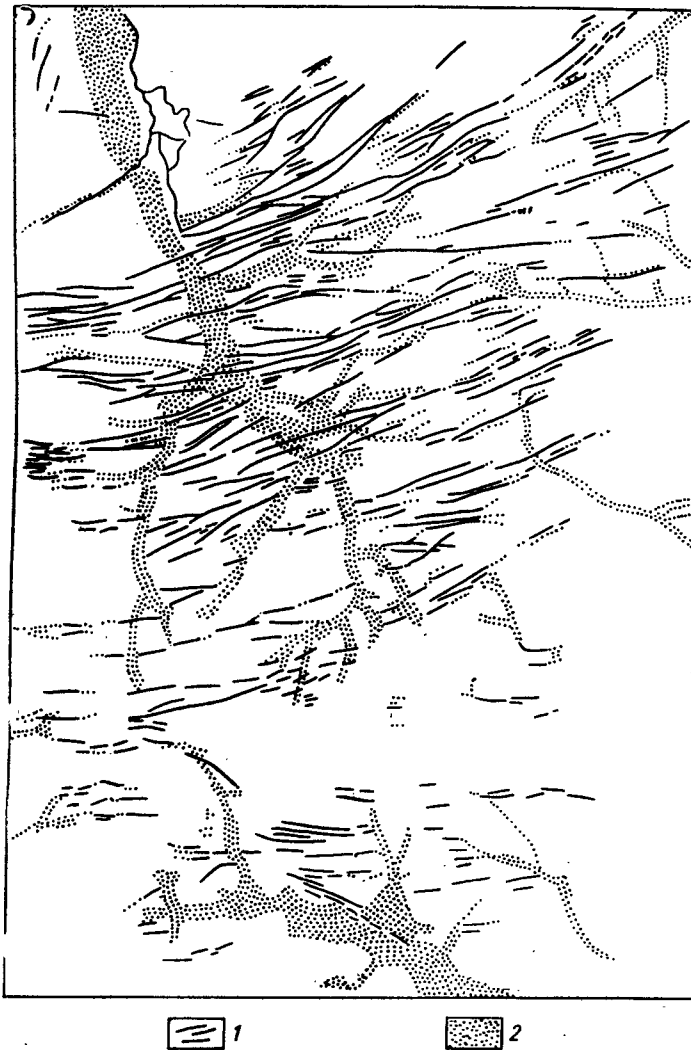


Рис. 2.2. Схема расположения жил месторождения золото-арсенипиритовой формации (по И. Г. Магакьяну, 1955):
 1 — золото-арсенипиритовые жилы, приуроченные к разломам; 2 — золотоносный аллювий

III. Формация прожилковых зон и штокверков

7. Зоны разлома без крупных смещений; прожилки кварца густо пронизывают раздробленные осадочные породы.

8. Зоны разлома в толще магматических пород, в пределах которой прожилки кварца густо пронизывают раздробленные магматические породы.

Данная классификация учитывает и структурный контроль. Часто встречаются рудопроявления в замках складок.

Г. П. Волярович (1966) дает подробную классификацию эндогенных месторождений золота. Первый порядок подразделения — по приуроченности к определенным комплексам пород. Все месторождения региона подразделены на четыре группы.

1. В древних кристаллических и метаморфических породах.
2. В палеозойских метазфизивах диабазо-альбитофировой формации и связанных с ними туфогенных породах.
3. В эидо- и экзоконтактах интрузий гранодиоритов мезозойского и палеозойского возраста.
4. В толщах осадочных терригенных пород мезозоя и кайнозоя (в связи с малыми интрузиями и дайками диоритовой формации).

В заключение этого краткого обзора укажем на один существенный момент: золото всюду присутствует в виде ничтожной примеси и никогда не может рассматриваться как породообразующий минерал. Следовательно, золото не может служить главным признаком, характеризующим генезис породы месторождения или ее генетические связи.

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗОЛОТЫХ РОССЫПЕЙ

При изучении формирования россыпей главный интерес представляют гидротермальные рудопроявления и в несколько меньшей мере — метасоматические скарновые руды. Эти две группы рудопоявлений мы находим в приведенных выше классификациях.

Гидротермальные рудопоявления связаны с магматизмом, обычно сиалического типа. По мере удаления от интрузива — источника, дающего начало гидротермам, меняются их характер, особенности кварца и кальцита, заполняющих трещины в породах, изменяется и состав минералов, отлагающихся вместе с кварцем и кальцитом. По мере внедрения, формирования и застывания интрузива происходит изменение температуры и давления, а вместе с ними и изменение характера формирующихся гидротермальных образований. По минералогическому составу (в порядке убывания температур) золото-кварцевые жилы принято ставить в следующий ряд.

1. Кварц-турмалиновая — почти без золота.
2. Кварц-пиритовая — довольно много золота.
3. Арсенопиритовая — много золота.
4. Галенит-сфалеритовая — мало золота.
5. Халькопиритовая — довольно много золота.
6. Антимонитовая — мало золота.
7. Карбонатная — совсем мало золота.

В пунктах 2—7 золото россыпеформирующих размеров.

С особенностями флюидов — растворов, несущих золото, — связаны преобладающие размеры золотинок и их пробность. Однако и при одних и тех же условиях выпадения сильно меняются размеры золотинок. Пробность хотя и меняется, но в более узких рамках.

Очевидно, так же как и кристаллы других минералов, размеры выделений золота зависят в значительной мере от длительности их образования. Может быть, поэтому в вулканогенных породах в результате относительно резких и быстрых изменений давлений и температур при извержениях создаются условия для образования более мелких агрегатов золота (менее 0,1 мм).

Крупность золота в кварцевых жилах подвержена существенным колебаниям. Н. В. Петровская показывает связь между содержанием сульфидов и крупностью выделений золота (табл. 2.2).

Самородки и вообще крупные выделения (более 5 мм в поперечнике) составляют весьма малую долю в общей массе частиц золота. Зато они эффективны. Находки самородков сопровождаются яркими

Средний гранулометрический состав золота из месторождений
 золото-сульфидно-кварцевых формаций
 (по Н. В. Петровской, 1973)

| Формация | Содержание, %, по классам крупности, мм | | | |
|------------------------------|---|---------|-----|-----------------------|
| | 0,01—0,1 | 0,1—0,9 | 1—2 | >2 |
| Малосульфидная | 5 | 25 | 50 | редко меньше 20 |
| Умеренносульфидная | 30 | 60 | 10 | мало, иногда более 20 |
| Убогосульфидная | 70 | 25 | 5 | мало |

рассказами и даже легендами. Самородки помельче (весом в грамм и десятки граммов) благодаря относительной частоте их встречаемости составляют уже заметную долю в золотодобыче, особенно «мелкие самородки» весом в 1—0,5 г. О размерах наиболее крупных самородков дает представление табл. 2.3.

Таблица 2.3

Характер крупнейших самородков

| Название самородка | Вес, кг | Вмещающая порода | Местонахождение |
|----------------------|---------|--|-----------------|
| Большой треугольник | 36,022 | в полости кварцевой жилы в глыбе пиритизированного сланца общим весом 260 кг | Урал |
| Плита Холтермана | 93,30 | | Австралия |
| Желаинный незнакомец | 69,6 | в пиритизированных сланцах | Австралия |
| Желаинный самородок | 68,2 | | |
| Глыба без названия | 240,0 | | |

Золото, выпадая из раствора, может образовывать пленки на поверхности кварца или сульфидов, постепенно заполняя пустоты. Редко можно наблюдать хорошо ограниченные кристаллы — кубики золота. Гораздо чаще наблюдаются дендриты. От формы пустот зависит форма золотинок в месторождениях и в россыпях. Особенно часто в россыпях мы видим пластинки золота, т. е. золотины, возникшие в результате заполнения трещин. Это заставляет предположить, что во время выпадения золота из растворов в породах было достаточно много открытых трещин, а следовательно, были и синхронные напряжения в толще пород, служившие причиной трещиноватости. Удаётся фиксировать и трещиноватость в зонах разломов, возникшую после консолидации рудных месторождений, — кварц оказывается иногда совершенно раздробленным.

Некоторая часть золота оказывается включенной в полевые шпаты, сульфиды и другие минералы, образующие жилы совместно с кварцем. Роль этого золота в образовании россыпей не вполне ясна. Но с выщелачиванием сульфидов, вмещающих золото, очевидно, и золото переходит в раствор и, возможно, высаживается на поверхности золотинок, сформированных в кварце. Но не следует предполагать, что во всех кварцевых жилах можно встретить золото. Это далеко не так. Лишь незначительный процент кварцевых жил золотоносен. Подчеркнем, что гидротермы лишь в тех случаях несли и осаждали золото, когда таковое содержалось в достаточном количестве в интрузивах, давших начало гидротермам.

Имеется довольно много россыпей, получающих питание от скарнов, богатых выделениями золота. При этом золотины в скарнах часто достигают размеров более 0,1—0,2 мм. Скарны приурочены к близким экзоконтактам, иногда к эндоконтактам.

Обычно скарновые рудопроявления золота богаты сульфидами. При их разрушении могут возникать насыщенные растворы, способные, по мнению ряда авторов (Альбов, Нестеров), растворять пылевидное и тонкое золото. При выпадении из раствора растворенного золота увеличивается размер более крупных золотинок, которые подвержены растворению в меньшей степени.

Вопрос о значении этого процесса для формирования россыпей до настоящего времени вызывает споры. Так или иначе при изучении россыпей следует учитывать возможность образования россыпей за счет размыва коренных источников, в которых крупные золотины возникли за счет выпадения золота из растворов.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРРИТОРИЙ С КОРЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ РОССЫПЕЙ ЗОЛОТА

Чисто морфологические особенности рельефа для участков поверхности, где имеются коренные месторождения, неизвестны. Анализируя поля высот, густоту и глубину расчленения, конфигурацию планового начертания эрозионной сети, мы не можем получить каких-либо критериев для поисков золоторудных проявлений. Однако некоторые особенности геоморфологического строения и истории развития рельефа могут оказаться ценными при поисках рудопроявлений золота. Отметим следующие особенности.

1. Зоны дробления, пронизанные золото-кварцевыми жилами, которые находят выражение в рельефе в виде понижений, используемых реками, и седловин на междуречьях. Реже благодаря окварцованности пород зоны, пронизанные кварцевыми жилами, выступают в виде гряд или возвышенностей. Такие зоны устанавливаются при составлении геоморфологических морфоструктурных карт.

2. Взаиморасположение долин, зон дробления и экзоконтактов гранитоидных интрузий.

3. Поля кварцевых жил на междуречьях в полосе экзоконтактов гранитоидных интрузий.

4. Зоны с многочисленными дайками разных по составу горных пород, одновременных и более древних, чем эпохи рудообразования.

5. Склоны кальдер и грабенов в районах, сложенных вулканогенными породами.

В целом вопрос о геоморфологической выраженности рудопроявлений золота разработан слабо. Наряду с приведенными выше признаками иногда отмечаются и другие, свойственные только отдельным конкретным районам. Остановимся на связи россыпей с территориями, примыкающими к гранитным интрузивам, и разломами (зонами разломов), пересекающими эти территории.

В геологическом строении золотоносных районов, как уже говорилось, в подавляющем большинстве случаев существенное участие принимают гранитные интрузии. Коренные источники россыпного золота тяготеют не к самим гранитам, а к зонам их экзоконтактов. Од-

нако далеко не везде, где есть гранитные интрузии, имеют место россыпи золота.

Казалось бы, приуроченность россыпей к обрамлению гранитных интрузий противоречит общей закономерности — увеличению содержания золота в породах нижнего слоя земной коры и мантии. Однако само образование гранитных интрузий, по-видимому, связано с проинкновением из глубины (из мантии) вещества и энергии. В результате толщи осадочных горных пород преобразуются — превращаются в очаги кислых и средних магм. Действительно, батолиты гранитоидов располагаются цепочками, например в Яно-Колымском золотоносном поясе, Калифорнии, Приамурье. Они линейно вытянуты и как бы трассируют выходы древних глубинных разломов на поверхность.

Интрузивы гранитов, граносиенитов, гранодиоритов обычно достаточно резко выступают в рельефе в виде горных хребтов, массивов, гряд или обособленных сопок. Это происходит по двум причинам: благодаря более интенсивному поднятию территорий, сложенных гранитоидами, или же вследствие различной сопротивляемости агентам денудации гранитоидов и вмещающих пород.

Более молодые разломы — зоны интенсивного дробления, не «залеченные» вторжением расплавов, — служат путями миграции золотоносных растворов и «ловушками» для их значительной части.

На рис. 2.3, А показана речная долина, заложенная вдоль мощного разлома. По обе стороны от нее поднимаются среднегорные массивы, сложенные гранитами. Россыпи приурочены только к долинам правых притоков и только к тем из них, которые заложили свои долины поперек оперяющего разлома. Золотоносные растворы, распространявшиеся от гранитоидного массива, сформировали зоны оруденения в раздробленных породах и главного, и боковых (оперяющих) разломов. Эти разломы «перехватили» все золотоносные растворы. Поэтому в долинах левого бережья россыпей нет.

На рис. 2.3, Б показана сходная ситуация. Долина, заложившаяся вдоль главного разлома, золотоносна не везде, а лишь там, где к ней имели доступ растворы, получавшие питание от гранитного массива. Там же, где она отделена от гранитного массива боковыми разломами, золотоносность долины, следующей вдоль него, не отмечается. Все растворы, шедшие от гранитного массива, были «перехвачены» боковыми разломами, вдоль которых заложились притоки главной реки. В их долинах и сформировались россыпи.

На рис. 2.3, В изображена сходная ситуация: золотоносна долина, сформированная вдоль главного разлома, а также долины некоторых ее притоков. В долинах притоков россыпи появляются на расстоянии от гранитного массива. Вблизи экзоконтакта золотое оруденение незначительно и аллювий имеет лишь знаковую золотоносность.

На рис. 2.3, Г отчетливо видно, что мощная зона разлома несет оруденение лишь вблизи массивов гранитоидов. С удалением от них золотоносность кварцевых жил в зоне дробления, размываемой рекой, сначала уменьшается, а далее и совсем сходит на нет. Вместе с этим и появление промышленных концентраций наблюдается только там, где долина ближе подходит к гранитоидным массивам.

Перечисленные примеры позволяют сделать заключение о том, что золотоносные растворы поступали не из глубин по зоне разлома, как в некоторых случаях предполагается, а «со стороны» — от апикальных частей гранитных интрузий, от экзоконтактов интрузий.

При геоморфологических исследованиях долин рек, прорезающих осадочные (или метаморфические) горные породы в зоне 3—10 км от

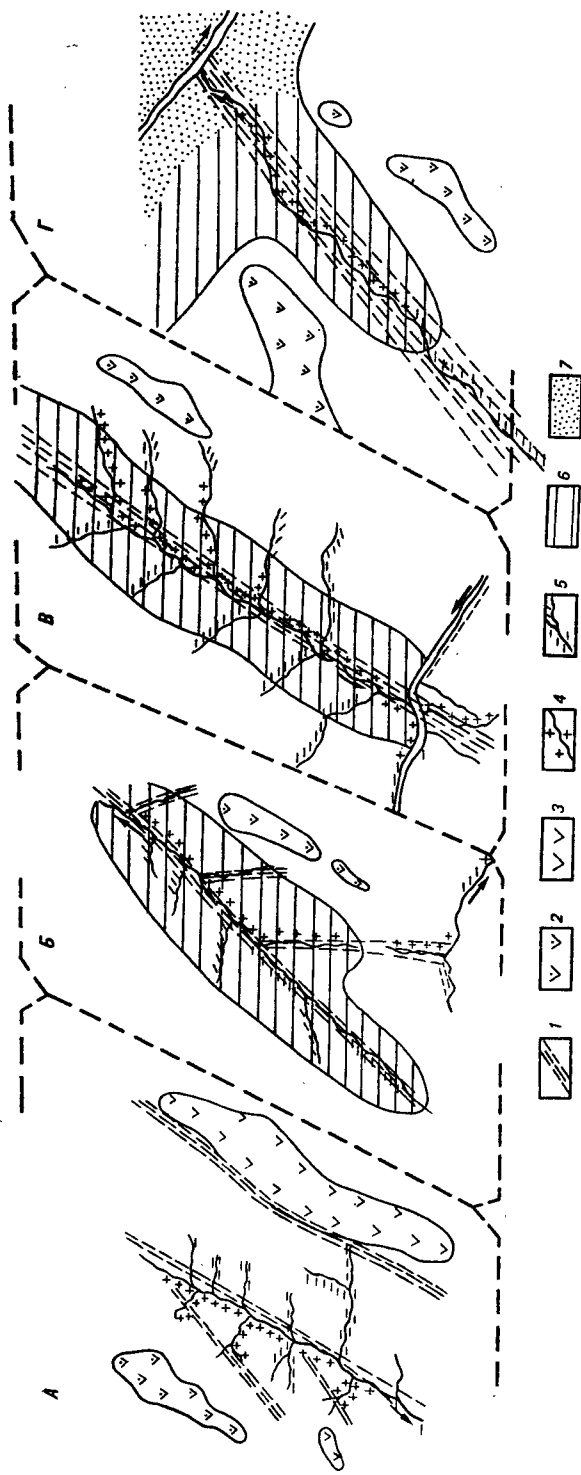


Рис. 2.3. Схема расположения золотоносных и незолотоносных долин в зависимости от взаиморасположения ингузий и зон дробления (разломов); 2 — граниты, гранодиориты, гранодиорит-порфиры; 3 — сенинты и граносенинты; 4 — долины рек с золотоносным аллювием; 5 — долины рек со слабозолотоносным аллювием; 6 — пониженные участки низкогорья — межхребтовые понижения; 7 — днища впадин с чехлом рыхлых отложений

экзоконтакта гранитоидной интрузии, необходимо проявить повышенный интерес к соотношениям между положением долин, разломов и экзоконтактов интрузий. Золотоносными могут быть и относительно крупные долины четвертого — пятого порядков и долины помельче, вплоть до долин первого порядка. Наиболее велики шансы встретить россыпи в спрямленных долинах (не руслах!) или участках долин, использующих, судя по морфологическим признакам, зоны дробления.

При глубоком вскрытии гранитных интрузий, когда денудацией уничтожены апикальные части интрузивов и прилегающие зоны, густо пронизанные дайками и кварцевыми жилами, вероятность встретить богатые россыпи уменьшается. Общая картина связи россыпей и зон разломов при этом становится гораздо менее четкой. Но долины территорий с низкогорным рельефом по обрамлению среднегорных или высокогорных массивов остаются относительно перспективными.

РАЙОНЫ ЗОЛОТОДОБЫЧИ

В пределах Советского Союза добыча золота в Средней Азии и на Кавказе велась еще до нашей эры. В России первоначально, в ограниченных размерах, добывать золото начали на Ветряном поясе — возвышенности, прилегающей к Онежской губе Белого моря. За 1744—1783 гг., по Г. Ф. Фоссу (1963), здесь было добыто из руды около 80 кг золота. С 1704 г. золото добывалось попутно с серебром в Восточном Забайкалье на Нерчинских заводах. На Урале первый золотой рудник — Березовский — был основан в 1754 г. На нем до 1861 г. было добыто 10 т золота (609,5 пудов). Добыча из россыпей началась, как принято считать, в 1814 г., хотя добыча «песошного» золота, судя по отрывочным сведениям, местами велась и раньше.

К началу первой мировой войны в России добыча золота имела довольно значительные размеры. Так, на Урале добывалось 5,7 т/год (1914 г.), а в Восточной Сибири — 48,1 т/год (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Количество золота, добытого в разных золотодобывающих районах России (по Г. Ф. Фоссу)

| Районы | Год начала добычи | Общее количество добытого золота к 1917 г., т |
|------------------------------------|-------------------|---|
| Урал | 1744 | 704,2 |
| Алтай и Кузнецкий Алатау | 1830 | 220,2 |
| Забайкалье | 1832 | 263,6 |
| Енисейский кряж | 1839 | 558,0 |
| Ленский район | 1843 | 660,1 |
| Приамурье | 1868 | 337,3 |
| Остальные | | 70 |
| Всего: | | 2754 |

Эти данные вряд ли точно рисуют картину золотодобычи. В до-революционное время по многим районам золотодобычи документально учитывалось около половины извлекаемого золота. Поэтому можно считать, что до Великой Октябрьской социалистической революции в России было добыто 4—5 тыс. т золота. Из них около 85% — из россыпей.

Из зарубежных стран больше всего золота добыто в ЮАР, Канаде, США и Австралии. В ЮАР добыто около 40 тыс. т золота, в

США — около 9 тыс., Канаде — около 4 тыс., в Австралии — 600 т. В Центральной и Южной Америке (по Г. Ф. Фоссу) к 1934 г. было добыто в Мексике 1500 т, в Колумбии — 1503, в Бразилии — 1204, в Перу — 840, в Чили, Боливии, Гайане, Венесуэле вместе — свыше 1000 т. Следовательно, Южная и Центральная Америка вместе дали около 6 тыс. т. В это число не входит золото, добытое в Америке до прихода туда европейцев.

Трудно сказать, какая доля приходилась на добычу из россыпей. Можно предполагать, что вряд ли меньше половины для большинства перечисленных стран. В. А. Обручев (1926) оценивал добычу из россыпей Калифорнии в 3000—3500 т, а если к этому добавить добычу из россыпей Аляски и других районов, то получается не менее 5—6 тыс. т по Соединенным Штатам в целом, т. е. значительно более половины всего добытого золота (из руд и россыпей).

Разработка россыпей за рубежом велась в основном в прошлом столетии и начале нынешнего, техническая вооруженность зарубежных золотых приисков в то время была невысока. Это дает основание считать, что из зарубежных россыпей взято далеко не все золото.

Среди всех месторождений золота на Земле по запасам и добыче выделяются месторождения Ранд, или Витватерсранд. Месторождения Ранд в Южной Африке приурочены к метаморфическим допалеозойским породам. Они представляют собой систему древних россыпей, материал которых подвергся воздействию высоких температур и давлений. По рельефу район, где находятся эти уникальные месторождения, представляет собой в настоящее время плато высотой около 1500 м. Угленосные песчаники переслаиваются здесь с долеритами. По геолого-геоморфологическим особенностям территория сходна со Среднесибирским плоскогорьем. На эту толщу (Свазиленд) и налегает собственно золотоносная толща Витватерсранд — чередование сланцев и кварцитов, в которую включено несколько пластов конгломератов. Общая мощность толщи 7000 м. В верхней части ее залегают пласты золотоносных конгломератов (мощностью 3000 м), или «риффы», из которых важнейшие — Главный риф, Лидер Главного рифа и Южный риф. В пласте Лидер Главного рифа (основном) мощность конгломерата до 3 м, большей частью 0,6—0,9 м. Галька крупная (7—8 см), особенно в основании пласта. К основанию пласта возрастают и концентрации золота.

В пластах метаморфизованного аллювия есть и минералы, генетически связанные с основными породами: хромит, ильменит, осмистый иридий и даже алмаз. Очень много пирита. Пирротин, халькопирит, сфалерит рассматриваются как вторичные минералы. Преобладает мелкое золото (0,01—0,1 мм), его 50—67% от общей массы. «Видимого» — крупного — золота немного. Золото группируется в «струи» длиной до 2,0 км при ширине не более 300 м. Длинные оси галек вытянуты в том же направлении, что и струи. При громадных запасах содержание в общем не высокое (5—15 г/т). Проба золота средняя — 800—880. Уникально месторождение не только по размерам, но и по своему строению и происхождению.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ О КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКАХ ДЛЯ ПОИСКОВ РОССЫПЕЙ

При рассмотрении коренных источников в аспекте поисков россыпей следует иметь в виду, что найти промышленное коренное месторождение золота во много раз труднее, чем промышленную рос-

сыпь. Для большинства весьма крупных аллювиальных россыпей золота несмотря на постоянные усилия не удается обнаружить промышленных крупных коренных источников — рудных месторождений. Вместо них поблизости устанавливается множество (сотни и тысячи) близрасположенных относительно небольших рудопроявлений часто с высокой концентрацией металла. Скорее всего именно в результате их разрушения и переотложения в аллювий возникли гигантские россыпи.

Отсюда следует, что для поисков россыпей особенно важно установить приуроченность зон группировки рудопроявлений к определенной геологической обстановке. Важны и геохимические особенности территории, и металлогеническая обстановка в пределах различных тектонических и магматических структур, и особенно соотношения с составляющими их частными структурными элементами (составляющими структурами).

И все же даже хорошо составленные и детальные металлогенические карты не позволяют указать, в какой долине будет богатая россыпь, а в какой — бедная. В этом легко убедиться. Для этого надо взять карту россыпной золотоносности, на которой хорошо и детально показаны геологическая ситуация и металлогеническая обстановка, и попытаться по этим данным сказать, где были открыты и уже отработаны россыпи, каковы были их числовые параметры. Все геохимические, металлогенические данные в этом виде ретроспективного анализа не позволяют прийти к достаточно точным заключениям.

Рядом находящиеся долины, расположенные в одинаковой геологической ситуации и, казалось бы, в абсолютно идентичной металлогенической обстановке, самым решительным образом различаются по размеру (запасу) и богатству (содержанию) приуроченных к ним россыпей. Тем не менее знание геологического строения, геохимических особенностей, а главное, конкретных металлогенических условий позволяет ориентироваться и направить поиски и разведку россыпей золота.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

При оценке коренных источников золота особенно важно учитывать следующие моменты.

1. На каждый коренной источник, даже богатый, может дать начало россыпи, а лишь такой, в котором частицы золота достаточно крупные ($> 0,2$ мм).

2. В основе коренных источников золота лежат мезотермальные кварцевые жилы и прожилковые зоны, а также скарны, богатые сульфидами.

3. Большая часть коренных источников золота располагается по периферии интрузий гранитов и гранодиоритов, особенно в тех местах, где имеются мощные зоны разломов, «залеченные» или «не залеченные» внедрением малых интрузий — даек.

4. Весьма важно, чтобы рудопроявления были сконцентрированы на ограниченной территории. Иначе при их разрушении затрудняется создание повышенных концентраций и в элювии, и в склоновых образованиях, и, главное, в аллювии (или морских отложениях).

Следовательно, при поисках россыпей геоморфолог должен отметить на геологической карте зоны, лежащие на удалении несколько километров от экзоконтактов. При денудационном срезе менее 1—2 км интрузии могут быть и не вскрыты (не показаны на геологической

карте). Но при этом над апикальными частями не вскрытых интрузий могут быть расположены зоны, богатые и гидротермальными жилами и дайками с мощными зонами приконтактового метасоматоза. Далее в указанных зонах важно выявить основную часть линейментов и приуроченных к ним долин. В зонах с мощным развитием мезокайнозойских вулканитов прослеживание зон разломов, выявление кальдер выдвигается на первое место.

Глава 3

КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ РОССЫПЕЙ ПЛАТИНЫ, ОЛОВА, АЛМАЗА, ИЛЬМЕНИТА, РУТИЛА, ЦИРКОНА, ПЬЕЗОКВАРЦА

Коренные источники платины

Коренные источники олова

Коренные источники алмазов

Коренные источники танталовых и ниобиевых минералов

Коренные источники россыпей титаносодержащих минералов — ильменита, рутила, лейкоксена

Коренные источники циркониевых россыпей

Коренные источники шеелита и вольфрамита

Коренные источники пьезокварца

Коренные источники полудрагоценных камней — опала, халцедона, янтаря и других.

КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ПЛАТИНЫ

Платина добывается в СССР, Канаде, ЮАР, США, Колумбии. Добыча ее за пределами СССР порядка 20 т/год — в 50 раз меньше, чем золота. В Канаде и ЮАР добывается примерно по 10 т, а в США и Колумбии — около 1 т. Платина — в основном «технологический» металл.

Удельный вес чистой платины — 21,7. В природе она встречается в виде твердых растворов с палладием и осмием, удельный вес которых соответственно 17 и 19. По химической инертности — устойчивости по отношению к процессам выветривания, т. е. по свойствам, необходимым для образования россыпей, — платина сходна с золотом. Близки и их удельные веса. Кларк ее 0,2—0,6⁻⁸%, т. е. она в десять раз менее распространена, чем золото.

Геохимически платина связана с ультраосновными и основными породами — дунитами, а также с перидотитами и пироксенитами. Для уральского типа месторождений характерны поликсен (80—88% Pt, и 5—11% Fe) и ферроплатина (71—79% Pt и 16—19% Fe). Платина, осмий и иридий образуют вместе с хромитом (FeCr_2O_4) небольшие жилкообразные тела, гнезда, шпиры и вкрапленность в дунитах и перидотитах. Платина встречается далеко не во всех хромитовых рудах. В основном преобладают выделения около 0,1—0,2 мм, хотя достаточно много зерен в несколько миллиметров. Именно эти зерна и концентрируются в россыпях. Встречаются и самородки весом до 9,6 кг.

Кроме того, рудопроявления платины встречаются в ликвационных гидротермальных сульфидных медно-никелевых рудах. Здесь вме-

сте с платиной присутствует палладий. Рудопроявления уральского типа не образуют значительных месторождений, но дают начало аллювиальным россыпям и небольшим элювиально-делювиальным россыпям. Платина нередко ассоциирует с золотом. Наблюдаются даже сростки платины с золотом.

В ЮАР месторождения платины несколько иные. Так, рудное месторождение Бушвельд представляет собой громадный лополит, площадью 39 000 км² и мощностью свыше 10 000 м. Он относится к ультрабазит-габбро-норитовой формации (геосинклинальной ее подформации). По возрасту это средний протерозой. Лополит расслоен. В средней части располагается так называемая «критическая зона» (чередование пироксенитов, перидотитов, хромитов, анортозитов) мощностью около 900 м. В верхних горизонтах «критической зоны» расположен «горизонт Меренского» — крупнейшее в мире коренное месторождение платины. Кроме платины в нем имеются участки с содержанием золота до нескольких граммов на тонну. Обособляющиеся при выветривании частицы платины имеют размеры в основном менее 0,1 мм, что не способствует россыпеобразованию, и в пределах Бушвельда не известно промышленных россыпей платины.

Известны и другие лополиты ультраосновных пород, также несущие мощное оруденение, в том числе и платиновые руды. В некоторых случаях поблизости от них известны небольшие платиновые россыпи. К подобным лополитам относятся Седбери в Канаде, дающий 40% мировой добычи платины (не считая добычу в СССР), Стил Уотер в США, лополиты в Замбии и Зимбабве.

КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ОЛОВА

В СССР олово добывается во многих районах: в Центральном Казахстане, Забайкалье, Буреинском хребте, Нижнем Приамурье, на Чукотке, в Омсукчанском хребте (водораздел Колымы и Охотского моря), Северо-Восточной Якутии. Имеются месторождения и рудные и россыпные. За рубежом крупные месторождения есть в Боливии, Корее, на п-ове Малакка, в Индонезии, Южном Китае. Около 70% олова добывается из россыпей — аллювиальных, морских, элювиальных и склоновых.

Олово — «гранитофилл», т. е. его руды располагаются поблизости от гранитных интрузий в широком интервале термобарических условий — от пегматоидных до низкотемпературных гидротермальных жил. Имеются оловянные руды и в эффузивах. Нижний предел содержания в промышленной руде 1,5 кг/т, для россыпей — 100 г/т. Кларк олова $0,6 \cdot 10^{-4}\%$, удельный вес 6,8—7,1; механическая прочность и химическая устойчивость велики. Касситерит часто ассоциируется с танталом, ниобием, вольфрамом. Кроме формации пегматитовой, кварцево-касситеритовой имеются еще касситерито-сульфидно-железистые рудопроявления, довольно разнообразные: от высоко- до низкотемпературных.

Месторождения Юго-Восточной Азии (Малайзия, Индонезия, Китай, Таиланд) в основном кварцево-касситеритовые, давшие начало множеству россыпей (крупные сростки кристаллов касситерита имеют вес до 3 кг). Кварцево-касситеритовые жилы приурочены к эндо- и экзоконтактам гранитов. В Южном Китае известны скарновые сульфидно-касситеритовые тела, давшие начало россыпям. Рудные месторождения Боливии — сильно измененные кварцевые порфиры, прони-

занные множеством разнообразных жил, в том числе кварцевых. Несмотря на большие размеры рудных тел и их групп, связанных с зонами разломов, россыпи Боливии невелики, возможно, потому, что преобладают мелкие кристаллы касситерита. Коренные источники в основном расположены в высокогорье, где скорости течений рек очень велики и мелкий касситерит легко переносится ими на большие расстояния, рассредоточиваясь по аллювиальным толщам крупных рек.

Оловянные толщи на юге Дальнего Востока принадлежат к касситерито-сульфидному типу и довольно разнообразны. При преобладании мелкого касситерита вблизи крупных и богатых месторождений наблюдаются россыпи. Для Северо-Востока Н. А. Шило и Г. Ф. Павлов выделяют шесть формаций оловянных руд и отмечают, что в рудопоявлениях касситерит-кварцевой формации средняя крупность кристаллов 2,9 мм, касситерит-силикатной — 0,35 мм, а касситерит-сульфидной — 0,7 мм (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Связь касситеритовых россыпей Северо-Востока СССР с коренными месторождениями различных формаций (по Н. А. Шило и Г. Ф. Павлову)

| Область распространения | Формации | | | | |
|--------------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|
| | касситерит-кварцевая | касситерит-силикатная | касситерит-сульфидная | оловоносные скарны | древянистое олово |
| Яно-Колымская складчатая зона . . . | 2 | 1 | 3 | 4 | 3 |
| Чукотская складчатая зона | 1 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| Охотско-Чукотский вулканогенный пояс | 3 | 1 | 3 | 4 | — |

Примечание: 1 — обычные промышленные россыпи; 2 — промышленные россыпи встречаются часто; 3 — промышленные россыпи редки; 4 — россыпи не характерны (имеются в виду формационно различные рудопоявления с древеснистым оловом).

КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ АЛМАЗОВ

За рубежом крупные месторождения алмазов разрабатываются в Заире, ЮАР, Анголе, Южной Родезии и смежных с ними странах в пределах Южно-Африканской платформы. Кроме того, алмазы добываются в Индии и Бразилии. Мировая добыча алмазов (без СССР) достигает 40—50 млн. карат. За рубежом 60% добычи приходится на россыпи. В СССР алмазы добываются главным образом из коренных месторождений.

Алмаз — редкий минерал. Его концентрация редко достигает 1 г/т. Алмаз — кристаллический углерод, предельно тверд: твердость 10, хотя и довольно хрупок. Удельный вес невысок — 3,52. Химически алмаз весьма устойчив. Месторождения алмаза приурочены к платформам и редко — к геосинклиналям. Они связаны с кимберлитом. При поисках россыпей наличие последних представляет существенный интерес. Известны находки алмазов непосредственно в магматических горных породах: в дунитах, сибирских траппах, но они единичны. Кимберлит — щелочной перидотит, ультраосновная порода с брекчиевидной или порфиroidной структурой. Различают собственно кимберлит (порфиroidную породу, туфобрекцию, сцементированную кимберлитом) и туфобрекцию кимберлита, в цементе которой кимберлита нет. Залегают кимберлиты в виде трубок взрыва или ждаек. Трубки иногда группируются рядами. Вниз трубки переходят в

дайки (в немногочисленных случаях, когда это удалось проследить). Размер трубок от 50 до 1500 м в поперечнике. В сечении трубки округлой или овальной формы. Ось трубок располагается вертикально. Считается, что трубки возникли в результате весьма мощных взрывов. По-видимому, высокие температуры и давления в толще земной коры существовали длительное время, так как для роста кристалла алмаза необходимо немалое время. В рельефе трубки выражены небольшие углубления, так как в верхних горизонтах на несколько десятков метров кимберлит выветрен и превращен в желтую или синюю глину. Выветривание проникает по трубкам на многие десятки или даже на две-три сотни метров. Образуется как бы линейная кора по кимберлиту, заполняющему трубку. Известны многие сотни трубок, однако алмазоносны они не в равной степени. Промышленно алмазоносны лишь единицы.

Размер алмазов определяется в каратах. Карат по-арабски «зерно». С 1913 г. принято считать, что карат равен 0,2 грамма. Величина кристаллов (добываемых) меняется в пределах от долей карата до нескольких десятков карат. Лишь очень редко случаются находки крупных кристаллов. Алмазу сопутствует определенный ряд минералов — пироп (гранат), пирохлор, хромдиопсид. Из них пироп представляет существенный интерес как минерал, встречающийся в более значительном количестве и легко констатируемый в шлихах и тем самым служащий важным минералом при поисках алмазов.

КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ТАНТАЛОВЫХ И НИОБИЕВЫХ МИНЕРАЛОВ

Тантал и ниобий (колумбий) довольно редкие, но весьма ценные элементы. Кларк тантала 0,0002, ниобия — 0,003%. Удельный вес тантала 17,1, ниобия — 8,6. Тантал и ниобий дают весьма жаропрочные сплавы. Карбиды их по прочности мало уступают алмазу. Добыча тантало-ниобитов, в частности колумбита, ведется в Нигерии, Конго, Заире, Бразилии, Канаде и США. Особенно значительны колумбитовые месторождения Нигерии на плато Джос и месторождения пирохлора в северо-восточной Бразилии.

Главнейшие минералы, содержащие тантал и ниобий, — колумбит $(\text{FeMn})\text{Nb}_2\text{O}_6$ и танталит $(\text{FeMn})\text{Ta}_2\text{O}_6$, пирохлор $(\text{NaCaNb}_2\text{O}_6\text{F})$, лопарит $(\text{Na, Ce, Ca})(\text{TiNb})\text{O}_3$. Связаны они с гранитами, граносиенитами, в том числе щелочными, особенно с их пегматитовой фацией, или же со скарнами (в известняках), а также с высокотемпературными кварцевыми жилами. Большое значение имеют также пирохлорсодержащие карбонаты. Во многих районах большое значение как коренные источники имеют метасоматически измененные щелочные граниты и натро-литиевые пегматиты. До настоящего времени 80% добычи за рубежом ведется из россыпей «ближнего сноса» — аллювиальных, склоновых, пролювиальных и склоново-аллювиальных.

КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ РОССЫПЕЙ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛОВ — ИЛЬМЕНИТА, РУТИЛА, ЛЕЙКОКСЕНА

Титан — элемент широко распространенный в земной коре, кларк его 0,45%. Соответственно и коренные источники россыпей титаносодержащих минералов встречаются достаточно часто и в разных районах, как в горах, так и на равнинах. Содержание титаносодержащих минералов достигает максимума в основных разновидностях габбро

и габбро-диабазов — битовнитах и анортозитах, а также в норитах.

Основные минералы — ильменит FeTiO_2 , титаномагнетит (прорастание ильменита магнетитом) и рутил TiO_2 . Преобладающий размер зерен ильменита 0,2—0,5 мм, иногда и больше 1 мм, и очень часто сотые доли миллиметра. Удельный вес ильменита 4,7, рутила — 4,3, твердость соответственно 5—6 и 6,5.

Эндогенные руды ильменита и титаномагнетита могут быть сплошные и вкрапленные. Пластовые тела и шпильки сплошных руд достигают 10 м мощности, а вкрапленных — гораздо больше. И те и другие руды служат коренными источниками для россыпей; первые — больше для россыпей ближнего сноса, вторые — для аллювиальных, морских и дельтовых.

КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ЦИРКНИЕВЫХ РОССЫПЕЙ

Цирконий — важная легирующая добавка в высокопрочные стали. В россыпях встречается циркон — минерал сложного состава, содержащий цирконий. Известный интерес представляет радиоактивная разновидность минерала циркона — наэгит. Добывается циркон из россыпей в Нигерии, Австралии, Бразилии и Индии.

Кларк циркония 0,025%. Удельный вес циркона 4,7; твердость 7,5. Крайне устойчив в условиях гипергенеза. Источником для цирконовых россыпей служат пегматиты. Россыпи циркона часто связаны с размывом кор выветривания. Циркон постоянно отмечается в рыхлых отложениях, однако повышенные концентрации его наблюдаются редко.

КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ШЕЕЛИТА И ВОЛЬФРАМИТА

При разработке как коренных, так и россыпных месторождений вольфрама используются повышенные концентрации двух минералов: шеелита CaWO_4 и вольфрамита $(\text{FeMn})\text{WO}_4$. Крупнейшие месторождения вольфрамовых минералов находятся в юго-восточном Китае (провинция Цзянси), Корее, Бирме и Малайзии. Кроме того, имеются месторождения в Бразилии, Боливии, США, Португалии и Турции. В СССР месторождения вольфрама разрабатываются на Северо-Востоке страны и в Забайкалье.

Кларк вольфрама 0,007%. Связан вольфрам с кислыми породами. Содержание его в рудах достигает 1—2%. В россыпях содержание 200—300 г/т (т. е. 0,02—0,03%) уже представляет интерес. Коренные источники для россыпей связаны, во-первых, с эндо- и экзоконтактами умеренно кислых гранитоидов и гранодиоритов — шеелитоносные скарны на контактах с известняками; во-вторых, с кислыми гранитами и высокотемпературными кварцевыми жилами — пневматолитовые образования и пегматиты. Часто вольфрам ассоциирует с оловом и разрабатываются комплексные оловянно-вольфрамовые россыпи.

Высокий удельный вес (шеелита 5,8—6,2, вольфрамита 6,7—7,5) способствует концентрации в россыпях, но хрупкость обоих минералов приводит к быстрому измельчению, что облегчает перенос в водном потоке и сильно способствует разубоживанию россыпи. Вследствие этого аллювиальные, склоновые и элювиальные россыпи представляют промышленный интерес только на малом удалении от коренных источников.

КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ПЬЕЗОКВАРЦА

Кристаллы кварца размером больше 30×30 — 40×40 мм в поперечнике с правильной кристаллической решеткой (не свилеватые, без сростков), не трещиноватые, лишенные включений (рутила, ильменита) или пузырьков, частично заполненных жидкостью, — пьезокварц. Такие кристаллы могут быть светлые, дымчатые и темноокрашенные — морионы. Кристаллы горного хрусталя без примесей, не трещиноватые и с правильной кристаллической решеткой отличаются весьма высокой механической прочностью и слабо поддаются химическому выветриванию. Добыча горного хрусталя в широких масштабах ведется в Канаде и США.

Кварц (SiO_2) — самый распространенный минерал на Земле, и вместе с тем коренные месторождения горного хрусталя немногочисленны. Они связаны с кислыми гранитами и приурочены к их экзоконтактам. Коренные скопления обычно находятся на расстоянии 1—3 км от контакта гранитной интрузии с вмещающими породами. Формируются кристаллы в пустотах в средней части крупных трещин, частично заполненных крупнокристаллическим кварцем, образуя шетки кристаллов. Большая часть кварца при этом не прозрачная: кварц молочно-белый — обычный жильный кварц. Однако в пустотах-занорышах друзы образованы хорошо ограненными кристаллами прозрачного кварца. Мощность кварцевых жил, содержащих занорыши с горным хрусталем, обычно более метра, а иногда в раздувах мощность жил достигает 3—5 м. Мощность по простиранию обычно не выдержана — это плоские линзы, имеющие в сечении «ступенчатый» характер. Принято считать, что для формирования жил необходимы образование в породе открытых тектонических трещин и их длительное сохранение, поскольку для образования крупных, а тем более правильных кристаллов требуются огромные промежутки времени — миллионы лет.

КОРЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ПОЛУДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ — ОПАЛА, ХАЛЦЕДОНА, ЯНТАРЯ И ДРУГИХ

В последнее время стали разрабатываться россыпи опала и халцедона. Эти минералы обычно заполняют пустоты в кислых эффузивах и при выветривании последних поступают в элювиально-склоновые образования и аллювий рек. Кристаллы кварца, окрашенные в розовые и голубые тона, так же как и кристаллы горного хрусталя, формируются в более или менее значительных пустотах кварцевых жил.

Несколько особняком стоит янтарь — уплотненная и частично перекристаллизованная смола сосен. Коренные источники янтаря — глины морских лагун или озер. Широко известны месторождения янтаря на южном берегу Балтийского моря (палеоген) и в Канаде (мел).

Глава 4

ВСКРЫТИЕ И РАЗРУШЕНИЕ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Денудация и денудационный срез

Основные факторы, определяющие интенсивность денудации

ДЕНУДАЦИЯ И ДЕНУДАЦИОННЫЙ СРЕЗ

Сама по себе благоприятная металлогеническая обстановка еще не обеспечивает образования россыпей. Надо, чтобы горные породы, включающие коренные источники, были срезаны денудацией на глубину в сотни метров, а иногда на один-два километра. Денудационные процессы должны совершить огромную работу. На это нужно время — много миллионов лет.

Чтобы не было разночтений в последующем изложении, мы будем различать денудацию — процесс срезания и сноса горных пород комплексом экзогенных рельефообразующих агентов (Д) и денудационный срез (ДС) — пространство (слой, толща), ранее заполнявшееся (слагавшееся) горными породами, ныне уничтоженными денудацией.

Следует различать общий и послерудный (пострудный) денудационный срез. Первый охватывает время от начала денудации в данной местности, т. е. от времени завершения формирования горных пород, слагающих рассматриваемую территорию, а второй считается от времени формирования рудных тел — коренных источников россыпей. При изучении россыпи основной интерес представляет именно послерудный срез. Соотношение между глубиной формирования руд и величиной послерудного среза определяет степень вскрытости коренных источников и поступление минерала в россыпь.

Из денудационного среза необходимо выделять эрозионный вырез. Эрозия как составная часть денудации формирует долины — отрицательные формы рельефа. В пределах долин величина денудационного среза больше, чем на междуречьях. Однако эрозионный вырез формируется не только водным потоком. В его формировании прини-

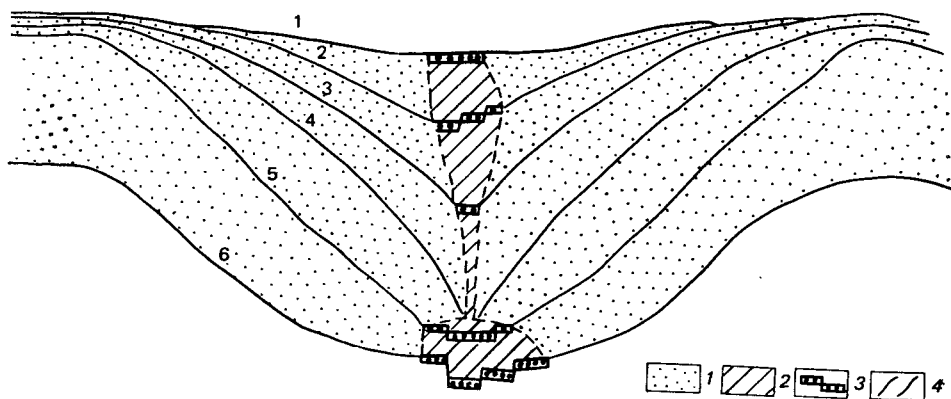


Рис. 4.1. Схема соотношений денудационной деятельности склоновых и флювиальных процессов:
1 — материал, оторванный от коренной породы выветриванием и склоновыми процессами и доставленный в сферу деятельности водного потока склоновыми процессами; 2 — материал, оторванный от коренной породы водным потоком, склоновыми процессами и выветриванием; 3 — материал, находящийся «в процессе перемещения» на дне долины (аллювий); 4 — последовательность положения склонов и дна долины в ходе ее углубления

мают участие и склоновые процессы. При образовании речных долин лишь малая часть массы горных пород срезается непосредственно потоком, большая часть их удалена склоновыми процессами, поставляющими материал со склонов и междуречий на дно долины в сферу деятельности водного потока. Но удаляет всю массу срезанных горных пород водный поток (рис. 4.1).

Эрозионный вырез есть часть денудационного среза, приходящаяся на речные долины. Другая часть ДС приходится на срез междуречных пространств. При этом доля эрозионного выреза в общем денудационном срезе бывает не одинакова. В начале формирования долинной сети при интенсивном углублении всей системы речных долин на долю эрозионного выреза может приходиться даже больше 90% денудационного среза. В эпохи отложения на дне долин констративного аллювия срезаются склоны и вершинные поверхности междуречий, а дно долин не эродируется.

Величина эрозионного выреза зависит прежде всего от величины неотектонических поднятий, так как именно он определяет глубину речных долин. От величины и ритмов неотектонических поднятий зависят также условия сохранения россыпей или же их погружения под мощные толщи неоген-четвертичных отложений. В принципе допустимо предположить, что может установиться и динамическое равновесие, при котором снижение междуречий происходит так же быстро, как и углубление долин, т. е. равномерно понижается вся поверхность. При прекращении поднятий в эпохи относительной тектонической стабильности, т. е. при мало меняющихся по высоте базисах денудации, происходит главным образом снижение междуречий, уменьшение контрастов высот.

Многие геоморфологи предполагают, что при стабильных базисах денудации происходит в основном отступление крутых склонов долин в сторону водоразделов или систем крутосклонных форм рельефа от берегов морей в глубь континентов с образованием зон рельефа островных гор, а в конечном счете педипленов. При этом почти не снижаются вершинные поверхности междуречий.

Числовые данные, накопившиеся к настоящему времени, позволяют считать, что при стабильном базисе денудации и отсутствии поднятий горная страна, такая как Кавказ или Гималаи, может быть превращена в денудационную почти равнину — пенеппен — за 25—45 млн. лет (в зависимости от условий, определяющих скорость денудации). За время от начала палеозоя до наших дней даже самые крупные горные системы, такие как Тянь-Шань или Анды, могли быть срезаны денудацией до корней 10—15 раз. ДС мог бы достигнуть за фанерозой 50—70 км. В действительности за время, прошедшее с конца палеозоя, на Урале, в Центральном Казахстане и других герцинских горных сооружениях денудационный срез лишь местами превышает 5—6 км, а на древних щитах — 20 км. Со времени же мезозойского магматического цикла, с середины юры или середины мела, толщина срезанной толщи горных пород в горных странах обычно измеряется величиной 1,5—3,0 км.

Долинные срезы и на равнинах и в горных районах обычно формируются длительное время — многие миллионы лет. Отдельные участки речных долин — антецедентные и долины в районе речных перехватов — могут углубляться сравнительно быстро, но врезание всей долинной сети «в целом» происходит со скоростью, намного меньшей. 200—300-метровые террасы в горах Прибайкалья, Забайкалья, При-

амурья, Северо-Востока СССР имеют обычно позднеплистоценовый (эоплейстоценовый) возраст, т. е. средняя скорость врезания составляет величину порядка 0,1 мм/год (300 000 мм за 3 000 000 лет). Позднеплейстоценовые террасы, синхронные последнему оледенению, имеют высоту над урезом около 20—30 м, а над поверхностью современной поймы — 15—25 м, т. е. врезание за ледниковое и послеледниковое время происходило со скоростью около 1 мм/год. Такая (в десять раз) разница в скорости врезания при расчетах на длительный и относительно короткий отрезок времени получается от того, что в течение длительного времени врезание неоднократно прерывалось, приостанавливалось или же сменялось аккумуляцией аллювия на дне долин.

Скорости врезания и расширения долин определяют возможность и быстроту перевода в россыпь россыпных минералов из коренных источников или промежуточных коллекторов. Поэтому при анализе истории развития рельефа, ориентированной на выявление условий формирования, захоронения или разрушения россыпей, интенсивность процесса углубления долин должна быть оценена количественно.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЕНУДАЦИИ

Интенсивность денудации зависит от трех основных факторов и ряда второстепенных.

Во-первых, высота над базами денудации. От нее зависят уклон рек, скорость их течения, а отсюда глубина и крутизна склонов долин и в целом интенсивность их денудации.

Во-вторых, прочность горных пород, податливость их в отношении выветривания и стойкость в отношении стирания движущимися по склону склоновыми образованиями, а также устойчивость против размыва в ложе потока. Если исключить из рассмотрения нелитифицированные осадочные горные породы, наиболее податливы к денудации породы типа флиша (песчаники, сланцы, алевролиты). Особенно прочны кварциты, яшмы, кремнеземные известняки. Высокой прочностью обладают и некоторые магматические породы, например кварцевые гранит-порфиры, траппы (габбро-диабазы и долериты), но многие магматические породы (туфы, туфолоавы, лавобрекчии) разрушаются сравнительно быстро.

В-третьих, ландшафтные (или климатические) условия территории. От них зависят быстрота и характер выветривания, развитие карстовых, водноэрозионных и склоновых процессов. Среди климатических показателей особенно важны увлажненность грунтов склонов и слой стока. Сухой климат пустынь и холодный климат высоких широт явно неблагоприятны для денудации. В сухом климате ослаблены процессы эрозии и сноса со склонов. Ослаблена денудация и при климатических условиях, вызывающих образование слоя вечномерзлых горных пород.

Из второстепенных факторов, определяющих интенсивность денудации, надо иметь в виду режим тектонических движений — смену эпох поднятий опусканиями и обратно, а также ширину горных систем и вообще поднятий, подвергающихся денудации.

Наиболее значителен денудационный срез на древних щитах. Принято считать, что на Анабарском массиве и на щитах в Южной Америке величина денудационного среза местами приближается к 20 км. На современных платформах денудация господствовала в докембрии. Позднее она сменилась состоянием, близким к равновесию.

Временами преобладала аккумуляция, поскольку на значительных площадях поверхность платформ несет осадочный чехол, временами — денудация. В настоящее время основная по объему денудация происходит в пределах горных поясов. Согласно К. Н. Лисициной (1974), снос реками Сибири только взвешенного материала составляет 106,3 млн. т/год — 40 млн. м³, или 1 км³ сносится за 25 лет, и по большей части этот материал сносится с гор. Общая денудация суши достигает 27 млрд. т.

ВЕЛИЧИНА ДЕНУДАЦИОННОГО СРЕЗА И РОССЫПИ

С позиций россыпеобразования, т. е. вскрытия и разрушения коренных источников денудацией, следует различать денудационный срез слабый, недостаточный, благоприятный, в том числе оптимальный, и чрезмерный.

На приведенных схемах (рис. 4.2) рассмотрены два случая вскрытия и разрушения коренных источников. В случае *А* коренные источники связаны с мощной зоной разломов и уходят своими «корнями» в глубь земной коры. В случае *Б* коренные источники приурочены к зонам, расположенным в толще вмещающих горных пород на некотором расстоянии от интрузивных тел, часто вблизи апикальных частей нескрытых интрузий.

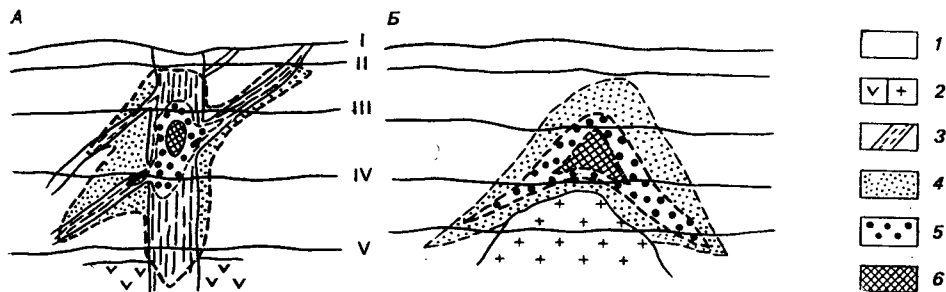


Рис. 4.2. Соотношение коренного источника россыпи и денудационного среза различной величины:

1 — вмещающие горные породы; 2 — рудоносные магматические породы; 3 — зоны дробления; 4 — рассеянные концентрации россыпных минералов в рудных коренных источниках; 5 — значительные концентрации; 6 — особенно высокие концентрации. Римскими цифрами показана поверхность земли: I — при рудообразовании, II — при слабом денудационном срезе, III — при недостаточном, IV — при благоприятном (оптимальном) и V — при чрезмерном денудационном срезе

При *слабом* денудационном срезе (на рис. 4.2. *А* и *Б* выше линии II) дневная поверхность не соприкасается с ореолами рудопроявлений. Рассчитывать обнаружить россыпи в данном случае нет оснований.

При *недостаточном* денудационном срезе денудацией бывают вскрыты ореолы слабого оруденения. Частицы полезного компонента начинают встречаться в аллювиальных, элювиальных и склоновых отложениях, а местами при мощном очаге оруденения могут возникать небольшие промышленные россыпи. При дальнейшем увеличении денудационного среза все большая часть коренных рудопроявлений оказывается вскрыта и разрушена. При этом все больше формируется россыпей. Когда поверхность денудации приближается к ниж-

ней границе ореола оруденения, основная масса рудопроявлений оказывается разрушенной и россыпеобразующий минерал, если зерна достигают достаточно крупных размеров, перетолжен в россыпи.

При унаследованном развитии долинной сети основная масса частиц россыпного минерала перетолкаывается с высоких террас — «проектируется» на уровни, лежащие ниже. В результате возникают наиболее богатые (при данном размере коренного источника) россыпи. Такой денудационный срез можно назвать *оптимальным*.

Интервал (по вертикали) между поверхностями недостаточного и оптимального денудационного среза обычно не одинаков и измеряется сотнями метров и может быть более километра. Именно в этом интервале и находится денудационный срез в большинстве россыпных районов.

При дальнейшем увеличении денудационного среза и врезании долин глубже нижней границы благоприятного ДС поступление полезного компонента в элювий, склоновые образования, аллювий или морские осадки уменьшается. Оно становится недостаточным для того, чтобы компенсировать потери полезного компонента при перетолжении россыпей на все более низкие уровни. Продукты разрушения «пустой» горной породы постепенно разубоживают ранее сформированные россыпи.

Однако россыпи некоторых минералов, например золота, даже при многократном перетолжении обнаруживают достаточную устойчивость. Если россыпи были очень богатыми в то время, когда денудационный срез был оптимальным, то в дальнейшем при неоднократном перетолжении они еще долго могут сохранять промышленную ценность. Содержания не сразу переходят за грань промышленных. Концентрация (содержание) ранее высвобожденного полезного компонента уменьшается и за счет постепенного растягивания россыпи вдоль по долине.

Эпоха рудообразования (формирования коренных источников) на любой территории может быть не одна, а две и три. В каждую из этих эпох рудопроявления формировались на одинаковой или близкой глубине от поверхности, но, поскольку поверхность литосферы от эпохи к эпохе меняла свое положение, коренные источники разных эпох оказываются на далеко не одинаковой глубине по отношению к современной поверхности.

Так как эпохи рудообразования, равно как и магматизма, продолжаются несколько миллионов лет, иногда даже десятков миллионов лет, денудация может протекать параллельно с рудообразованием длительное время. В течение этого времени денудационный срез может достигнуть нескольких сотен метров. В таком случае формирование россыпей может начаться почти одновременно с рудообразованием. Россыпи не характерны для зон современного и неоген-палеогенового магматизма (вулканизма), но многие золотоносные районы расположены в пределах зон мезозойской складчатости и магматизма.

В настоящее время собрано много данных, показывающих, что вскрытие и разрушение коренных источников золота продолжались в течение длительного времени. В эпохи поднятий и горообразования формировались глубокие долины, происходили срезание и перемык огромных толщ горных пород. В эпохи спокойной тектонической жизни по мере срезания поднятий интенсивность денудации уменьшалась, происходило перетолжение и уничтожение накопившихся ранее толщ. При этом перетолкавались и уничтожались россыпи. В уцелевших обломочных толщах древних отложений во многих золотонос-

ных районах фиксируется наличие золота. Правда, почти всегда концентрации низкие и промышленных россыпей нет. Но промежуточные коллекторы формировались. Следовательно, разрушение коренных источников захватывает огромные промежутки времени.

То же следует сказать и о времени формирования россыпей касситерита, вольфрамита (и шеелита). Относительно таких минералов, как платина и танталит, в этом отношении собрано недостаточно данных. Длительность формирования россыпей ильменита, рутила и циркона не вызывает сомнений, и замедленное уменьшение их концентраций в россыпях также растягивается на огромные промежутки времени.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕНУДАЦИОННОГО СРЕЗА И ЭРОЗИОННОГО ВЫРЕЗА ПО ПЛОЩАДИ

В пределах любой территории, и особенно в горах, ДС распределяется неравномерно. Участки, испытавшие интенсивные поднятия, подвергались и более интенсивному разрушению. Во многих горных системах близ осей антиклинорий на поверхность выведены древние метаморфические или интрузивные горные породы. В золотоносных районах это чаще всего граниты, гранодиориты, сиениты, граносиениты, а также щелочные разновидности гранитоидов. Эти горные породы относительно упорно сопротивляются денудации, и несмотря на ее интенсивность их выходы образуют наиболее приподнятые части горных хребтов, а ДС превышает 3 км. В некоторых случаях в осевой части хребтов гранитоиды перекрыты относительно молодыми неогеновыми или палеогеновыми базальтами, также уже испытавшими на себе воздействие денудации. В предгорных прогибах и во внутриворонных впадинах ДС намного меньше, часто здесь большую часть времени преобладала аккумуляция, и послерудный ДС вообще отсутствует.

В районах древней складчатости, где тектонический режим в ряде случаев приближается к платформенному, дифференциация тектонических движений обычно невелика. Более интенсивно поднимающиеся блоки или блоки пород, устойчивых к выветриванию, образуют горные хребты и массивы, а иногда отдельные сопки и группы сопок — сопочные массивы. В их пределах денудация протекает и протекала более интенсивно, чем на смежных пониженных участках. Поэтому денудационный срез оказывается достаточно значительным и на поверхность местами выведены магматические горные породы и зоны контактов их со вмещающими породами.

В величине денудационного среза наблюдаются также различия, обусловленные положением той или иной части территории по отношению к речной сети. Денудационный срез оказывается больше вблизи крупных эрозионных артерий, поскольку днища крупных долин располагаются ниже днищ долин средних и малых долин.

О влиянии величины эрозионного выреза на размеры россыпи можно судить и по схеме, приведенной на рис. 4.3. На схеме видно, что два притока пересекают зону прокварцевания, к которой приурочены коренные источники. Это небольшие по размерам рудопроявления, но достаточно многочисленные. Все они находятся в пределах прокварцеванной зоны дробления (разлома). В результате размыва горных пород, слагающих зону дробления, в долинах двух смежных ручьев сформировались россыпи. Глубина долины более крупного ручья *К* в два раза больше, чем небольшого ручья *М*. При одинако-

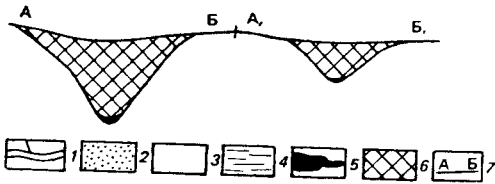
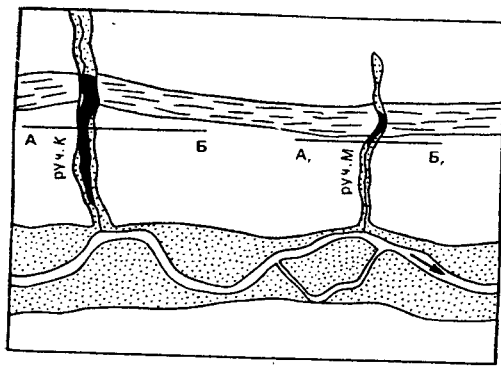


Рис. 4.3. Зависимость размеров россыпи от глубины эрозионного выреза (при прочих равных условиях): 1 — русла рек; 2 — поверхность пойм; 3 — поверхности, сложенные коренными породами; 4 — поверхности зоны интенсивного прокварцевания горных пород; 5 — поверхность поймы с россыпью; 6 — сечение эрозионного выреза (речной долины); 7 — линии профилей

вой крутизне долин сечение долины руч. К (в зоне пересечения ею зоны, насыщенной коренными источниками и близ нее), естественно, в четыре раза больше, чем сечение долины руч. М. Соответственно поступление полезного компонента в водный поток при прочих равных условиях в первом случае в четыре раза больше. Запасы в россыпи (обе россыпи в данном случае отработаны) руч. К больше уже не в четыре раза, а почти в 5 раз, так как при увеличении глубины вреза возрастает не только сечение в целом, но и его доля, приходящаяся на самую богатую часть рудной зоны.

Таким образом, в любом районе с россыпями полезных минералов на расстоянии нескольких километров, а тем более десятков километров, денудационный срез подвержен значительным колебаниям. Следовательно, и коренные источники в разной мере эродированы, т. е. россыпной

минерал в разной мере переведен из коренного источника в россыпь. Приуроченность большей части ДС к эрозионным вырезам хорошо заметна вблизи крупных водных артерий, особенно при условии, что склоны выпуклые и имеют наибольшую крутизну в нижней части. У крупных долин склоны от уреза до водореза обычно длиннее. В случае быстрого понижения базиса эрозии склонов импульс к увеличению их крутизны не успевает распространиться вверх по склонам на участки междуречий вблизи водоразделов. Быстрота распространения свежего эрозионного вреза по долинам рек зависит прежде всего от размера водотока и скорости его течения, определяемой не только водностью водотока, но и уклоном его поверхности. Поэтому только при длительном развитии долинной системы вырабатывается продольный профиль долины, четко соответствующий водности потока и сопротивляемости размыву его ложа.

При длительном развитии долинной сети продольные профили основных речных артерий и верхинных разветвлений речной сети оказываются хорошо выработанными. Тогда в последние также проникает аккумуляция. Такую картину можно видеть, например, в южном Зауралье и низкогорьях Восточного Забайкалья, где наносами заполнены долины первого порядка вплоть до самых верховьев. В крупных долинах аккумуляция приводит к формированию толщ констративно-го аллювия мощностью более 100 м.

В большинстве случаев россыпи приурочены к поймам рек, к мо-

лодому голоценовому аллювию. Но полезный компонент оказался здесь не в результате разрушения коренных источников в голоцене, а после многократного переотложения с более высоких уровней и при одновременной «подпитке» за счет разрушения все новых и новых рудоносных образований.

В областях денудации, если исключить равнинные территории с аридным климатом, вся поверхность изрезана системами речных долин. Глубина расчленения изменяется от места к месту, при этом глубина долин показывает возможную сферу денудации, а совокупность объемов эрозионных вырезов — величину уже осуществленной денудации. Пространство, ограниченное поверхностью, объединяющей днища долин, и поверхностью, объемлющей вершинные части междуречий, составляет «пласт эрозии» — сферу произведенной и возможной деятельности денудации. Изменения в мощности «пласта эрозии» по территории (в плане) характеризуют изменчивость эрозионных вырезов, а вместе с этим и величину снижения междуречий. От изменений мощности «пласта эрозии» по территории зависит степень перевода россыпного минерала из коренного источника в россыпь, а следовательно, и распределение россыпей в плане.

Для большинства золотоносных районов развитие долинной сети и разделяющих долины междуречий принято считать со времени завершения формирования поверхности выравнивания. Объем эрозионных вырезов и количество материала, снесенного с вершинных поверхностей междуречных пространств, характеризует ДС за время с начала активизации тектонических движений, по данным большинства исследователей — с конца олигоцена. Реже предполагается более молодой возраст формирования выровненного рельефа. Однако почти для всех районов распространения россыпей формирование рудных тел, разрушение которых дало начало россыпям, относится к эпохам мезозойской складчатости и магматизма или к еще более раннему времени. Поэтому пострудный ДС должен быть разделен на две части: новейшую — за время неотектонического этапа до наших дней и раннюю — от эпохи рудообразования до начала эпохи тектонической активизации. На рис. 4.4 граница между этими двумя частями ДС проходит по поверхности выравнивания.

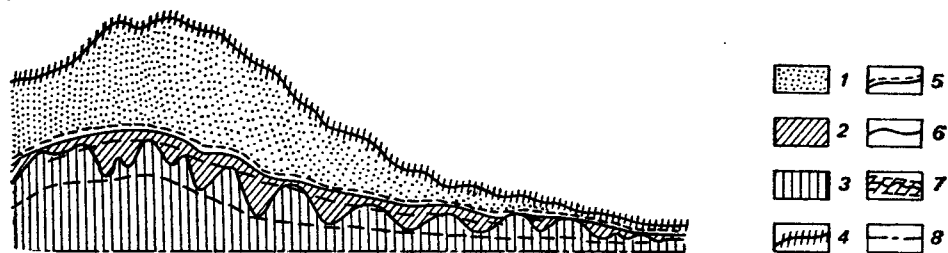


Рис. 4.4. Соотношение «раннего» и «новейшего» денудационного срезов, эрозионного выреза в «новейшем» денудационном срезе и «пласта эрозии»:

1 — «ранний» денудационный срез; 2 — «новейший» денудационный срез; 3 — породы, не удаленные денудацией; 4 — поверхность земли во время рудообразования, деформированная позднейшими тектоническими движениями; 5 — поверхность выравнивания к началу новейших тектонических движений; 6 — современная поверхность земли; 7 — «пласт эрозии» (на фоне «новейшего» денудационного среза); 8 — современный базис эрозии

В районах мезозойской складчатости и магматизма «ранним» ДС по большей части удалялись «пустые» горные породы. Рудоносные

зоны были затронуты денудацией лишь незначительно. Тем не менее на поверхности выравнивания олигоценового (или миоценового) возраста установлены небольшие промышленные россыпи и промежуточные коллекторы — проаллювиальные и аллювиальные отложения.

В тех районах, где образование рудных тел происходило до середины мезозоя, ко времени формирования олигоценовой (миоценовой) поверхности выравнивания коренные источники могут быть полностью разрушены или существенно срезаны. Полезный компонент в значительной мере переведен в древние россыпи или промежуточные коллекторы. В этом случае много внимания приходится уделять анализу древнего рельефа и донеогеновых отложений, условиям их сохранения и разрушения.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕНУДАЦИОННОГО СРЕЗА

Для определения величины денудационного среза, эрозионного выреза, интенсивности денудации в настоящее время используют ряд методов. Они дают вполне приемлемые результаты, которые можно использовать для решения практических задач. Однако применение только одного из методов всегда оставляет место для ошибок. Поэтому необходима проверка результата другими методами и лучше не одним, а несколькими.

Метод реконструкции толщ по геологическому профилю. На геологическом профиле пласты, связанные с денудацией, реконструируют с учетом их мощности и крутизны падения. Этот метод использовали Вильфсон (1962), И. О. Кушнарев (1964, 1969), Ю. Г. Симонов (1968), В. Д. Аксенова, П. О. Генкин, И. Е. Драбкин (1970) и многие другие. Строится не один профиль, а несколько: чем больше, тем точнее реконструкция. Густота пересечения территории профилями определяется в зависимости от того, насколько отличаются данные по соседним профилям. При этом, чтобы сократить величину ошибки, следует использовать крупномасштабные карты. В районах широкого распространения стратифицированных толщ при наличии геологических карт этот метод дает надежные результаты. В районах, где осадконакопление происходило прерывисто и перерывы осадконакопления были длительными, в осевых частях антиклинальных складок мощность слоев понижена, а местами осевые части антиклиналей подвергались размыву.

Затруднено (но не исключено) применение этого метода на территориях с интенсивной магматической деятельностью, как эффузивной, так и интрузивной, поскольку не всегда возможно с необходимой точностью определить мощность магматических образований и условия залегания магматических тел.

Определение денудационного среза по «минералам-термометрам». Этот метод используют для определения величин ДС, если в горной породе имеются минералы, для которых выявлены температуры и давления их формирования или меняются какие-либо специфические их свойства. Некоторые минералы так и называются «минералы-термометры». Этот метод применим к территориям широкого распространения жильных образований или магматических пород, как эффузивных, так и интрузивных. Он требует специальных знаний и оборудования. Возможные ошибки при применении этого метода происходят прежде всего от того, что при одном и том же давлении температура может быть не одинакова. Поэтому иногда оказывается затруднительным определить глубину, на которой образовались кристаллы того

или иного минерала. Ч. Ф. Парк и Р. А. Мак-Дормид (1966) приводят ряд способов определения физических условий образования минералов: температуры перехода от высокотемпературной генерации кварца к низкотемпературной; температурных и барических условий концентрации «чужеродных» минералов на поверхности спайности кристаллов; температуры и давления, при которых появляются различные примеси в твердых растворах.

Определение величины ДС путем изучения газожидких включений. В кристаллах кварца и других минералов удается обнаруживать газожидкие включения. В лабораторных условиях при искусственном изменении температуры можно добиться того, что заполняющая жидкость, наблюдаемая во включениях, полностью переходит в газообразное состояние, образуя однородную (гомогенную) систему, аналогичную той, которая существовала во время формирования жилы. Появляется возможность определить температуру и давление формирования кварцевой жилы, а отсюда перейти к определению глубины ее образования. Сопоставляя данные по нескольким образцам, возможно оценить и глубину формирования коренного источника, а следовательно, и величину денудационного среза. Этот метод, хотя и дает хорошие результаты, требует весьма высокой квалификации исследователя, ведущего анализ, и сложной аппаратуры.

Определение величины ДС морфотектоническим методом. Этот метод основан на восстановлении «тектонического» рельефа путем мысленного «засыпания» эрозионных форм. Вычитая из «восстановленной» поверхности современную топографическую поверхность, возможно получить объем денудационного среза. Сопоставление карт реконструированного и современного рельефа (топографический) позволило ряду исследователей (Симонов, 1966, 1968; Пантелеев, 1965, 1968; Бронгулеев, Муратов, 1976) получить объем снесенных горных пород. По существу, метод сводится к составлению карты обобщенных изогипс. При применении этого метода используются крупномасштабные топографические карты.

Могут применяться и другие методы составления «первичного тектонического рельефа». Например, предложенный В. П. Философовым, Н. Г. Шубиной, Л. Б. Аристарховой, А. В. Орловой «морфотектонический» метод позволяет определить в основном «эрозионный вырез». Величину ДС за время, протекшее до формирования вершинных поверхностей, а также срез приводораздельных частей междуречий в неотектонический этап этим методом определить нельзя.

Используя ту или иную методику восстановления тектонического рельефа, мы реконструируем некоторую относительно выровненную поверхность. Но если от этой поверхности сохранились фрагменты, на которых уцелели «корни» площадной коры выветривания, расчеты величины эрозионного выреза за неотектонический этап развития рельефа приобретают довольно высокую степень достоверности.

Однако эта исходная поверхность могла быть и не особенно ровной, а самые высокие междуречья могли быть также в какой-то мере снижены за время врезания долин. Тогда расчеты ДС по этому методу заметно теряют в своей надежности.

Определение ДС по количеству обломочного материала, накопившегося в прилегающих предгорных и внутригорных впадинах. Этот метод может быть успешно применен в том случае, если известно, какая часть обломочного материала, снесенного с прилегающих возвышенных участков (хребтов, массивов, плато), отложилась в близлежащих впадинах, а какая была унесена далеко от места срезания. На-

пример, в Нерской впадине (Северо-Восток СССР) отложились толща неогеновых осадков, достигающая мощности 600 м. Часть осадков (алеuritы, алеuritистые глины, тонкие пески) отлагалась в то время, когда в пределах впадины существовали озера и выноса твердых частиц за пределы впадин практически не было. Но есть в этой толще немало прослоев галечников, указывающих на то, что по дну впадины текли реки и, следовательно, осуществлялся транзит наносов через впадину, за пределы горной системы Черского. Поэтому нет возможности определить, какая доля материала осталась во впадине, а какая — вынесена. В большинстве случаев преобладают подобные ситуации. Исключением служат Байкал — глубочайшая впадина на суше — и Каспий, непрерывно существующие с олигоцена. Здесь осадконакопление шло постоянно с конца палеогена. (Не фиксируется, естественно, только ионный сток для Байкала и частично для Каспия.) Однако и здесь остаются неясными существенные моменты — устойчивость формы и размеров бассейнов питания сноса в течение неогена и количество материала, отложенного в небольших, «частных» коллекторах в пределах бассейнов Байкала и Каспийского моря.

Во всяком случае, объем горных пород, срезанных денудацией, больше объема осадков, отложившихся во впадине. Некоторые исследователи (Горшков, 1979) дают обоснования положения, что лишь половина срезанного денудацией материала выносится в океан, а другая половина ложится во впадинах, прилегающих к месту срезания. Этот метод совсем не учитывает денудацию в форме ионного стока.

Оценка денудационного среза и денудации по твердому стоку рек. Этот метод состоит в определении величины сноса вещества с единицы площади в результате удаления реками наносов, взвешенных и влекомых, а также в растворе. Мы получаем лишь данные о скорости современной денудации, а затем экстраполируем их на предыдущие эпохи.

Надежность данных, получаемых в результате измерений стока наносов, нередко подвергается сомнению. Действительно, единичные измерения твердого стока рек могут привести к ошибочным выводам. Однако в настоящее время накоплен огромный материал по длительным рядам наблюдений для всех материков, разных географических зон, гор, равнин и плоскогорий. Есть возможность проверить расчеты, полученные по твердому стоку рек по другим данным, в частности по скорости заполнения водохранилищ, ванн естественных озер. В результате вырисовываются закономерности распределения твердого стока по поверхности суши. Возможная ошибка в определении интенсивности денудации по твердому стоку рек столь же велика, как и ошибка в оценке величины жидкого стока или количества осадков. При расчете этим методом интенсивность денудации занижается, так как не учитывается сток наносов при экстремальных наиболее высоких расходах воды с повторяемостью в 20—50 лет, а также при селях. С другой стороны, интенсивность современного твердого стока несколько повышена из-за антропогенного воздействия. На распахиваемых территориях количество наносов намного больше по сравнению с тем, что имело место раньше — в естественном состоянии, до распашки земель. Интенсивность денудации, полученная этим методом, относится к современности, а денудационный срез необходимо рассчитывать за длительные промежутки времени. В прошлом могла быть другая интенсивность денудации в результате следующих причин: 1) иной климат прошлого, при котором были другие интенсивности стока воды, сноса склонов и скорость выветривания; 2) иной уклон днщ долин и 3) иная литология.

При оценке интенсивности денудации в прошлые эпохи приходится подбирать геоморфолого-климатические «аналоги» изучаемой территории, где бы современный рельеф и климатические условия были максимально близки к тем, которые имели место в отдельные отрезки времени в прошлом на изучаемой территории. При наличии данных о растительном покрове прошлого вполне возможно реконструировать климатические условия того времени. Одновременно требуется оценка уклонов рек. Ошибки в определении величин, конечно, будут иметь место, но при тщательном расчете это даст лишь небольшие отклонения.

При оценке россыпной золотоносности какого-либо района следует пользоваться не одним методом, а несколькими. Малые различия в полученных величинах, поскольку методы независимы друг от друга, указывают на достоверность результатов. Расхождения требуют выяснения причин этого и сбора дополнительных данных.

В целом в настоящее время сделано еще мало расчетов денудационного среза. По мере накопления данных будет уточняться и методика, а числовые характеристики будут давать все более точную картину. Однако следует помнить, что в большинстве случаев необходимы не столько точные, сколько достоверные результаты.

Еще лет 15—20 назад подобные попытки расчета встречались с большим неодобрением, для чего тогда были основания. Изучение россыпей, пожалуй, больше, чем какие-либо другие исследования, способствует углублению учения об интенсивности эрозионно-денудационных процессов, изучению величины и эффекта денудации.

Глава 5

РОССЫПИ ЭЛЮВИАЛЬНЫЕ И КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Общие понятия

Выветривание

Элювиальные поверхности

Элювиальные россыпи

Коры выветривания

Россыпи кор выветривания

Значение элювиальных россыпей и кор выветривания

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

Пространства между днищами соседних долин, озерными котловинами, близлежащими заливами моря или озерами принято называть междуречьями. Они делятся на вершинные поверхности междуречий — субгоризонтальные поверхности с уклонами обычно менее 2° , где нет постоянного движения чехла обломков вниз по уклону, и склоны междуречий, где чехол обломков, слагающих поверхность, смещается вниз по уклону. В данной главе мы рассмотрим только россыпи междуречных вершинных поверхностей.

На вершинных поверхностях междуречий протекают процессы выветривания горных пород и процессы перемешивания рыхлого материала, происходящие вследствие изменения гидротермических условий. В результате на вершинных поверхностях междуречий возникает элювий, а при весьма длительном воздействии выветривания образуется кора выветривания.

Во влажном тропическом климате кора выветривания образуется быстро, в геологическом аспекте времени «молниеносно». Для Сян-гана, например, констатировано формирование коры выветривания мощностью в 10 м за голоцен, т. е. за 10 000 лет. Выветривание свойственно не только вершинным поверхностям междуречий, но и склонам, где оно протекает более интенсивно.

ВЫВЕТРИВАНИЕ

Выветриванию посвящена огромная литература. Здесь мы можем остановиться лишь на самых основных характеристиках, существенных для понимания образования россыпей. Скорость выветривания горных пород зависит от трех главных факторов: 1) свойств выветривающихся горных пород; 2) активности агентов выветривания, определяемых особенностями ландшафта; 3) степени закрытости выветриваемой горной породы от воздействия внешних агентов.

Разные породы выветриваются по-разному: известняк разрушается совсем иначе, чем перидотит. Быстрее разрушаются крупнозернистые породы, но нередки исключения. Богатые кварцем (до 70%) крупнозернистые пегматиты более стойки, чем граниты мелкозернистые, но бедные кварцем (20%). В песчаниках и алевролитах быстрота разрушения их агентами выветривания зависит и от свойств цемента, и от минералогического состава зерен. Особенно большое значение имеет трещиноватость, открывающая дорогу агентам выветривания в глубь горных пород. Наиболее распространена тектоническая трещиноватость, связанная с изменением объема при застывании магматических пород и при уплотнении пород в ходе диагенеза осадочных пород. Есть трещины «снятия нагрузки», появляющиеся при выходе на поверхность пород, сформировавшихся на больших глубинах в условиях огромных давлений и высоких температур. Зоны повышенной трещиноватости часто заметны в микрорельефе вершинных поверхностей междуречий в виде углублений или пологих ложбин. Иногда по трещинам, возникшим ранее эпохи магматизма и связанной с ним гидротермальной деятельности, внедряются растворы и «запаивают» трещины. После этого окварцованные или ожелезненные породы приобретают повышенную прочность и выступают в рельефе междуречий в виде гряд или холмов.

Агенты выветривания используют также дефекты прочности пород, обнаруживающиеся без специальных исследований. По П. А. Ребиндеру, ни реакция на снятие нагрузки, ни напряжения, возникающие при изменении гидротермических условий, недостаточны для механического разрушения минералов. Для последнего необходимо, чтобы кристаллы минералов, образующих горные породы, имели дефекты структуры, в основном «ультрамикротрещины». Напряжения, вызываемые тектоническими движениями (сейсмические колебания), снятием нагрузки (в результате денудационного среза), колебаниями температур и влажности, сосредоточиваются на окончаниях микротрещин, что и приводит к дроблению горных пород. Прежде всего разрушаются микроскопические зоны по границе зерен разных минералов, образующих горную породу. Заметно меньше трещин рассекает зерна минералов (дефекты структуры).

Активность агентов выветривания, а также сочетание их в каждом конкретном случае определяются в основном контрастностью гидротермических условий, в конечном счете климатом. Влияние климатических различий сильно нивелируется наличием чехла обломков, одеваю-

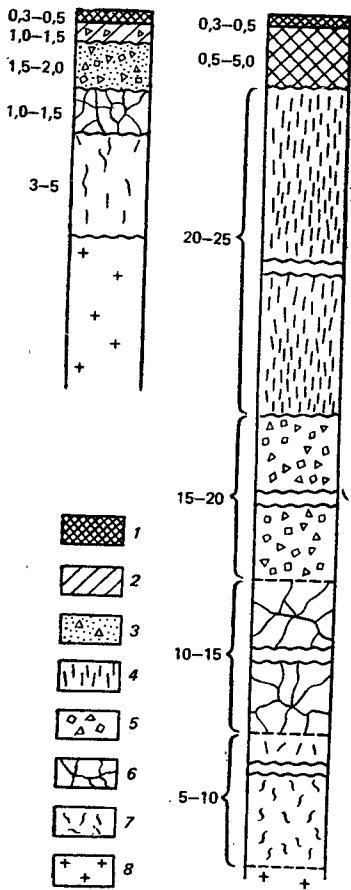
шего поверхность невыветренных горных пород. Экспонированная на поверхность горная порода разрушается во много раз быстрее, чем порода, прикрытая даже маломощным слоем обломков, за который суточные колебания температуры проникают в столь ослабленном виде, что не могут вызвать разрушения горной породы. Практически это 20—30 см. Годичные колебания температуры и влажности проникают на большую глубину — несколько метров. С удалением от поверхности они постепенно затухают, и на глубине более 4—5 м температура и влажность почти постоянны. 30—40-метровый слой площадной коры выветривания крайне ослабляет воздействие не только физического, но и химического выветривания на породу, залегающую глубже, прикрывая «щитом» обломков от дальнейшего разрушения. Поэтому различия в составе и количестве материала, удаляемого с единицы площади той или иной территории, а этот показатель отражает суммарный результат выветривания, отличаются не очень сильно в различных климатических зонах. Если оценивать интенсивность выветривания «по результату», т. е. по количеству материала, подготовленного выветриванием к удалению (с данной территории), то решающим фактором, определяющим интенсивность выветривания, будет именно расчлененность рельефа. Сошлемся в этом отношении на данные, приводимые О. А. Алекиным и Л. В. Бражниковой (1963). Наибольший модуль стока растворенных веществ наблюдается в бассейне Аральского моря, т. е. рек Амударьи и Сырдарьи. Он достигает 69 т/км² в год, при средней величине для СССР 17,2 т/км², 23 т/км² — для всех рек суши, впадающих в океан. В горах Средней Азии сток растворенных веществ достигает, по О. А. Алекину, 100—200 т/км² в год, в то время как на Суматре, близ экватора, в условиях низкогорного рельефа — только 40 т/км².

Таким образом, выветривание горных пород (разрушение их) определяется прежде всего расчлененностью рельефа, от которой зависит крутизна склонов, т. е. условиями для постоянного возобновления экспозиции коренных пород. При этом надо иметь в виду, что выветривание в основном протекает на склонах, в ходе смещения материала. На ровных же поверхностях междуречий оно вследствие накопления продуктов разрушения протекает замедленно. Но за длительное время, за миллионы лет, горные породы разрушаются на глубину до нескольких десятков метров. В условиях теплого климата иногда возникают силикатные, карбонатные, железистые коры выветривания, отличающиеся еще и высокой механической прочностью и в отличие от рыхлых продуктов выветривания неспособные смещаться под влиянием гравитации.

Физическое выветривание может быть подразделено на пять видов.

1. Температурное выветривание, вызываемое резкими колебаниями температуры. Это или суточные колебания температуры, или изменения температуры поверхности горной породы в течение часов и минут, вызываемые изменениями затененности поверхности. В результате в толще породы возникают значительные температурные градиенты, могущие достигать 1—2 и даже 5—10° на 1 см. Естественно, что при этом из-за неравномерности расширения (сжатия) породы в ее толще возникают напряжения, при неоднократном повторении приводящие к расширению первичных трещин. Различное нагревание отдельных частиц горной породы может быть вызвано разной окраской минералов. И хотя неодинаковое восприятие тепла охватывает лишь самую поверхность минералов, температурные градиенты могут быть весьма значительны: до 12—15° на 1 см толщины породы.

2. Температурное выветривание, вызываемое медленными, но значительными годовыми колебаниями температуры. Так как горные породы состоят из минералов, имеющих различный коэффициент расширения, изменения объема и линейных размеров кристаллов, составляющих неоднородную породу, на границах зерен минералов создаются напряжения. Они возникают неоднократно, и это приводит к раздроблению породы. Обособлению зерен полиминеральных пород способствует еще и то, что разные минералы по-разному меняют свой объем при изменении давления и температуры, по-разному реагируют на одностороннее давление. Существенные колебания ($5-10^{\circ}$) в областях с



континентальным климатом проникают на глубину лишь до $5-6$ м. В результате такие породы, как крупно- и среднекристаллические граниты, сиениты, диориты, габбро, аркозовые песчаники, распадаются в дресву, а конгломераты и брекчии превращаются в щебень и гальку. Мощность разрушенной породы (дресвы) часто достигает $2-3$, а иногда — и $5-6$ м.

3. Морозное выветривание связано с расширением воды при замерзании в трещинах горных пород. При этом «слепых» трещинах давление при замерзании может увеличиваться до сотен атмосфер. При высоких давлениях вода замерзает при температуре на несколько градусов ниже нуля. Следовательно, для активного хода процессов морозного выветривания необходимо, чтобы температура понижалась не менее, чем на 5° ниже нуля, так как верхние горизонты горных пород, разбитые трещинами, представляют единый монолит с подстилающими породами, напряжения, возникающие в них, передаются глубже проникновения температурных колебаний и ослабляют связи между зернами минералов. Возникает горизонт «предразрушения» (рис. 5.1).

Рис. 5.1. Схема типичных разрезов элювия и коры выветривания (по Ш. Ш. Гасанову):
 1 — гумусовый горизонт; 2 — суглинистый горизонт; 3 — щебенисто-суглинистый горизонт; 4 — каолинт-монтмориллонитовый горизонт (нередко с гибситом); 5 — щебенисто-дресвяный горизонт; 6 — «разборная скала»; 7 — горизонт «предразрушения»; 8 — скрытотрещиноватая скальная порода

4. Кристаллизационное выветривание может играть значительную роль при повышенной концентрации растворов, циркулирующих в толще породы. Выпадение из раствора солей и рост возникающих кристаллов сказывается на расширении трещин, по которым происходит циркуляция растворов.

5. Механическое воздействие корней растений, землероев и других организмов, так же как и кристаллизационное выветривание, большей частью идет вслед за другими агентами выветривания. Корни растений расширяют ранее возникшие трещины, равно как животные, «точащие» горные породы.

Химическое выветривание есть разрушение горных пород в результате химических реакций. Происходит взаимодействие горных пород с кислородом и углекислотой воздуха, но главным образом с веществами, растворенными в подземных водах, и просто с водой, диссоциированной на ионы. Не меньшее значение, чем растворение, имеют гидратация и гидролиз. Только немногие минералы (галит, гипс, сильвин) хорошо растворяются в воде. Основная же масса минералов, образующих горные породы — алюмосиликаты, растворима в весьма малой степени, а кварц почти нерастворим. Растворение в подземных водах увеличивается благодаря присутствию в толщах пород минералов, дающих при растворении их водой ионы сильных кислот. Таковы прежде всего сульфиды. Зоны, богатые сульфидами, это вместе с тем и зоны сосредоточения многих коренных источников россыпных минералов. При выветривании участков земной коры, богатых сульфидами, возникают зоны окисленных руд. Здесь разрушаются не только сульфиды, но и алюмосиликаты. Там, где в виде акцессорного минерала присутствует флюорит, в растворе появляется ион фтора, содействующий растворению почти всех минералов.

Наличие ионов сильных кислот способствует растворению алюмосиликатов и открывает путь к их гидратации и гидролизу. Особенно большое значение имеют гидрокарбонат-ион и нитрат-ион. В то время как сульфат-ион или фтор-ион, раз вступив в реакцию, далее уже не действуют, гидрокарбонат-ион и нитрат-ион систематически вводятся в состав подземных вод за счет поступления из атмосферы и почвы. Из разрушающихся алюмосиликатов образуются гидрослюда, а в дальнейшем — монтмориллонит и каолинит. В тропиках при разрушении основных и ультраосновных пород возникает зона окислов алюминия, железа, титана — латериты.

По устойчивости в отношении химического выветривания породообразующие минералы располагаются, согласно Э. Г. Деггенсу (1967), в следующий ряд: оливин, битовнит, пироксены (авгит), лабрадор, амфиболы (роговая обманка), биотит, олигоклаз, альбит, ортоклаз, микроклин, мусковит, кварц. Как видно, минералы ультраосновных горных пород менее устойчивы, чем кислых.

Акцессорные и рудные минералы (по А. А. Кухаренко, 1961) также могут быть расположены в следующие ряды: 1) неустойчивые — халькопирит, арсенопирит, сфалерит, пирротин, киноварь, пирит; 2) умеренноустойчивые — вольфрамит, шеелит, апатит, гросоуляр, диопсид, эпидот; 3) устойчивые — альмандин, пироп, магнетит, титаномагнетит, колумбит, танталит, сфен, ильменит, ксенотим, монацит, касситерит; 4) весьма устойчивые — хромшпинелиды, гематит, лимонит, топаз, турмалин, лейкоксен, рутил, шпинель, платина, золото, циркон, корунд, алмаз.

ЭЛЮВИАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

В начале главы говорилось о рельефе элювиальных поверхностей, т. е. поверхностей, на которых могут формироваться элювий и коры выветривания. На них образуются и соответствующие россыпи. Далеко не все вершинные плоские горизонтальные (субгоризонтальные) поверхности междуречий лишены неровностей. В горах уплощенные вершинные поверхности приурочены к приводораздельным частям междуречий и имеют ширину 50—200 м, редко до 500 м. При продолжающихся поднятиях или при уже достигнутой значительной приподнятости над базисами эрозии происходит постепенное «съедание» склона,

ми субгоризонтальных поверхностей междуречий. Приводораздельные вершинные поверхности в ходе взаимодействия выветривания, склоновых процессов и эрозии приобретают форму, при которой баланс вещества на склонах и вершинных поверхностях длительное время сохраняет устойчивость. Формы приводораздельных частей междуречий в результате этого по большей части выпуклые, а вершины куполообразные.

На вершинных поверхностях залегает элювий — продукт разрушения слагающих междуречья горных пород. Мощность элювия зависит прежде всего от быстроты удаления продуктов разрушения на склоны и далее вниз.

В низких и средних горах при ширине приводораздельных субгоризонтальных поверхностей в несколько сот метров элювий представляет собой продукты выветривания, оставшиеся на месте своего образования. Это обломки, отделившиеся от подстилающей раздробленной трещинами «коренной» горной породы (см. рис. 5.1). Коренная горная порода под толщей обломков разбита трещинами шириной в несколько миллиметров или долей миллиметра на отдельные глыбы и часто называется «разборной скалой». Глубже трещины становятся все тоньше и на глубине 4—6 м становятся незаметными визуально. Еще дальше в глубь горной породы трещины обнаруживаются при тщательном наблюдении еще до глубины 8—10 м. Это так называемый «горизонт предразрушения» (Гасанов, 1981). Собственно элювием называется уже раздробленная горная порода. Разборную скалу обычно не включают в слой элювия.

Указанная мощность отдельных горизонтов элювия может сильно варьировать в зависимости от особенностей горных пород, климата, но прежде всего от положения в рельефе. Чем уже субгоризонтальные приводораздельные поверхности междуречий, тем меньше мощность элювия, и на островершинных и даже округловершинных поверхностях междуречий она может сокращаться до двух-трех десятков сантиметров.

На территориях с суровым климатом, в том числе в высоких горах и плоскогорьях, на вершинных поверхностях междуречий наблюдаются «каменные моря» — курумы. Они возникают за счет вымерзания на поверхность из толщи щебнистого суглинка крупных глыб, образующих разборную скалу. Под поверхностным слоем глыб в толще курума залегают щебнистый суглинок, разборная скала и горизонт «предразрушения». В большинстве же случаев элювиальные поверхности покрыты слоем почвы, в котором и физическое и химическое выветривание значительно активизировано биологическим фактором.

Вместе с образованием элювия формируются и элювиальные россыпи. По Е. В. Шанцеру (1966), элювиальный процесс (и процесс образования элювиальных россыпей) складывается из четырех связанных между собой групп явлений и процессов: 1) разрушения материнских пород; 2) перераспределения и частичного выноса продуктов выветривания; 3) взаимодействия продуктов выветривания с окружающей природной средой и образования новых низкотемпературных минералов; 4) метасоматического замещения минералов исходных горных пород и элювиальных образований продуктами выветривания.

ЭЛЮВИАЛЬНЫЕ РОССЫПИ

Само по себе раздробление скальной горной породы, содержащей россыпной материал, уже облегчает разработку продуктов разрушения, эл

делает ее более рентабельной по сравнению с разработкой скальной породы коренного источника. Например, промывка золотосодержащей элювиальной рыхлой массы рентабельна при содержании, в 50 раз меньшем по сравнению со скальной породой. Поэтому контур элювиальной россыпи может оказаться намного шире, чем площадь коренных руд, и промышленный интерес представляет и элювий более бедных руд.

Обогащение элювия может происходить за счет следующих трех процессов.

1. Удаление части пустой породы коренного источника в растворенном состоянии. С раствором уходит кремнекислота SiO_2 , образующаяся при превращении алюмосиликатов в гидрослюдастые минералы элювия. Кроме кремнекислоты удаляются все другие растворимые продукты выветривания.

2. Смыв водой мелких твердых частиц — частиц вновь образованных глинистых минералов и обломков горной породы, образовавшихся при физическом выветривании. Помимо этого уносятся еще и отмершие части растений, в которых имеется и зольное вещество, извлеченное растением из коренных пород. Смыв твердых частиц обычно весьма ограничен. Он происходит лишь там, где поверхность не покрыта дерниной, опадом листьев и хвои или мхами и лишайниками.

3. На элювиальных поверхностях, не поросших густой древесной растительностью, часть мелких и легких частиц, образовавшихся в ходе выветривания, удаляется ветром. Минеральной пыли за год удаляется довольно много, об этом свидетельствует наличие ее на поверхности снежников и ледников. Мелкие частички тяжелых минералов концентрируются в элювии при смыве и удалении ветром зерен легких минералов.

Есть и процессы, препятствующие концентрации в элювии частиц тяжелых россыпных минералов. Это процессы пучения и трещинообразования.

В результате перечисленных процессов элювиальные россыпи обладают рядом специфических свойств.

1. Элювиальная россыпь располагается непосредственно над коренным источником и частично в непосредственной близости от него.

2. Контур элювиальной россыпи подобен контуру выходов коренного источника, хотя и больше последнего иногда в несколько раз.

3. Содержание полезного компонента в россыпи близко к содержанию в коренном источнике и увеличено по сравнению с ним обычно в 1,5—4 раза.

4. Частицы полезного компонента не окатаны, слабо оглажены и по форме почти не отличаются от частиц в коренном источнике (остроугольные, фестончатые, крючковатые).

5. Элювиальная россыпь сравнительно однородна, хотя часть ее в средней части контура несколько богаче.

В микрорельефе элювиальных поверхностей россыпи могут быть отчетливо выражены. Если горная порода коренного источника отличается большей прочностью, чем вмещающие породы, например кварцевые жилы, пегматиты, окварцованные зоны, то эти участки выступают над общей ровной поверхностью в виде пологих холмов и гряд, а иногда даже стен или столбов. Но нередко бывает и обратная картина. Быстровыветривающаяся сильно глинистая зона дробления, содержащая полезное ископаемое, заметна в рельефе вершинной поверхности междуречья как ложбина или цепочка пологих западин.

Известны элювиальные россыпи многих минералов. Встречаются элювиальные россыпи золота. Они невелики по запасам и там, где

обнаруживались высокие содержания, быстро обрабатывались. Существенного значения они почти никогда не имели. То же можно сказать и об элювиальных россыпях платины. Химически устойчивые, механически прочные и тяжелые частицы этих металлов должны давать большие скопления в элювии, все увеличивающиеся по мере разрушения и снижения элювиальных поверхностей.

Гораздо большее значение имеют элювиальные россыпи касситерита. Широко известны россыпи типа «кулит» и «крикилл», описанные Г. Б. Жилинским (1965). Они находятся на междуречьях и связаны с выходами на поверхность кварц-турмалин-касситеритовых жил (рис. 5.2). Кулит — маломощные (0,4 м) кварцевые пески, цементи-

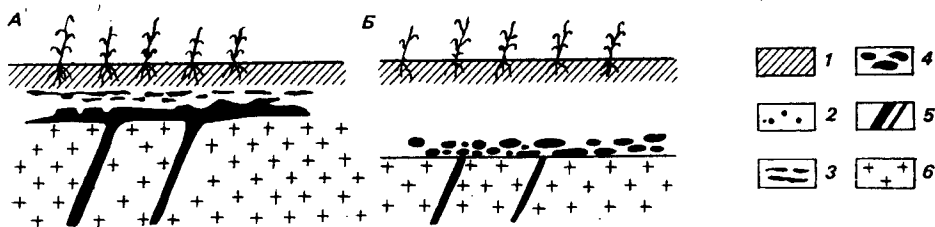


Рис. 5.2. Схемы геологического строения месторождений типа «кулит» (А) и «крикилл» (Б) (по Г. Б. Жилинскому, 1965): 1 — почва; 2 — гравий; 3 — кулит; 4 — крикилл; 5 — рудные жилы; 6 — коренные породы

рованные окислами железа. В основании, на спае с коренной породой, пески особенно сильно обогащены касситеритом — концентрации местами достигали десятков килограммов на тонну. Крикилл — несколько промытые глинистые пески, сформировавшиеся за счет разрушения месторождений типа кулит. В Индонезии на островах Банка и Белитунг сходный оловосодержащий элювий погребен под более молодыми аллювиальными песками, также с повышенным содержанием касситерита.

Как пишут Н. Г. Патык-Кара с соавторами (1970), вмещающие породы оловорудных месторождений Якутии, принадлежащих к касситерит-кварцевой, касситерит-силикатно-сульфидной и касситерит-сульфидной формациям, в условиях сурового климата быстро подвергаются дезинтеграции при незначительном химическом изменении. Однако химическое разрушение все же наблюдается, и оно способствует высвобождению полезных компонентов. Высокая прочность связей касситерита с кварцем приводит к тому, что в элювии значительная доля его остается заключенной внутри кварцевых глыб.

Известны россыпи алмаза в элювии кимберлитов в Южной Африке. В прошлом разрабатывались многочисленные россыпи горного хрусталя в Южном Зауралье. Здесь широко распространены выходы на поверхность мощных (1,5—3 м) кварцевых жил. Вблизи них в элювий были включены и кристаллы горного хрусталя. Относительная легкость их обнаружения и несложность извлечения привели к их быстрой отработке.

КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Можно предположить, что в ходе развития при почти стабильных базисах эрозии и денудации со временем междуречья будут понемногу

снижаться, склоны должны будут становиться положе, а привершинные поверхности — все шире. В конце концов формируется «почти равнина» — пенеплен. Вследствие препарировки получают выражение в рельефе, в основном в мезо- и микрорельефе, все особенности структуры. Выветривание же при этом не прекращается, и при слабости денудации элювий постепенно превратится в кору выветривания.

Если считать, как многие геоморфологи это и делают, что выравнивание идет не «сверху» (как это сказано выше), а «сбоку», путем отступания крутого уступа, поднимающегося над ровной пологонаклонной поверхностью педимента, то необходимо признать, что элювий, а тем более кора выветривания может формироваться на педименте (или педилене) только тогда, когда развитие педимента прекратилось, т. е. через него нет транзита материала, сносимого с крутого уступа. Пока же поверхность педимента есть область транзита материала, ни кора выветривания, ни элювий на нем возникнуть не могут.

Кора выветривания каолинового типа возникает на ровных поверхностях пенеплена или педилены, причем циркуляция подземных вод захватывает горизонты, лежащие ниже урезов поверхностных вод. На это указывает развитие карста на 10—20 м ниже уреза рек, наличие площадных кор выветривания на почти плоских, нерасчлененных погрбенных поверхностях выравнивания.

По зонам дробления, постепенно затухая в глубину, циркуляция подземных вод проникает на сотни метров. Примером могут служить никеленосные коры в гипербазахитах Урала, сформировавшиеся на 200—300 м ниже урезом рек.

Коры выветривания, в частности латеритного типа, формировались также и в условиях в целом глубокорасчлененного рельефа на уцелевших в его пределах территориях, например на платообразных поверхностях, бронированных мощными выходами прочных пород. Так, горные породы по постоянно хорошо дренированным краям трапповых плато на Среднесибирском плоскогорье меньше подвержены химическому выветриванию, чем внутренние части, где горные породы лучше увлажнены. В прошлом, при жарком климате, в начале кайнозоя там формировались латеритные коры выветривания, разрушавшиеся позднее, при похолодании климата. Формирование латеритной коры выветривания наблюдается также и в низкогорных районах при достаточно сухом климате, когда склоновые процессы протекают медленно, вынос же кремнезема подземными водами происходит довольно интенсивно.

В горах и на плоскогорьях, иногда на значительной высоте над базисами эрозии, находятся выровненные поверхности шириной 1—4 км, а иногда и больше. На них наблюдаются относительные превышения в несколько десятков метров, даже до 200—500 м. Обычно положительные формы рельефа — это твердыши. Эти выровненные поверхности большинством исследователей рассматриваются как остатки древних поверхностей выравнивания. Они приурочены к приводораздельным частям междуречий, куда дольше не проникает свежая эрозия. А. Е. Криволицким (1970) и некоторыми другими исследователями высказывается предположение, что образование выровненных вершинных поверхностей происходит в результате гольцовой денудации. Считается, что если бы это были фрагменты древнего выровненного рельефа, то на них мы видели бы мощные площадные коры выветривания. Однако ожидать на уцелевших фрагментах древней поверхности выравнивания хорошей сохранности рыхлых кор нет оснований. Естественно, что при разрушении склоновыми процессами прежде всего будет удален рыхлый покров, и лишь потом начнется уничтожение его цоколя, сохраняю-

щего по форме подобие некогда существовавшей выровненной поверхности.

Очень часто группируют высоты вершин междуречий в близкие по высоте «уровни», и это единственное, что служит основанием для констатации существования в прошлом одной или нескольких вершинных поверхностей. Подобный подход справедливо критикуется и служит основанием для отрицания существования поверхностей выравнивания во многих горных сооружениях.

Констатация древних поверхностей выравнивания или установление того, что они отсутствовали, чрезвычайно важны для понимания развития рельефа любой изучаемой территории. Если удастся констатировать на вершинных поверхностях междуречий остатки аллювия, морских или озерных отложений, глинистой коры выветривания — вопрос решается просто. Но, как уже говорилось, при малой ширине выровненных поверхностей их можно и не обнаружить.

Обращает на себя внимание различие современных и древних кор выветривания. Современные (четвертичные) коры выветривания даже в благоприятных ландшафтных условиях тропиков почти никогда не имеют полного профиля, а мощность их редко превышает 15—20 м. Древние коры выветривания (площадные) часто обладают полным профилем и, если не пострадали от последующего размыва, обычно имеют мощность 30—50 м. Это принято объяснять длительностью формирования древних кор в благоприятных климатических и тектонических условиях, измеряемой миллионами лет.

В подавляющем большинстве случаев в составе магматических горных пород преобладают алюмосиликаты. Кора выветривания на них (при полном развитии) состоит из следующих горизонтов (снизу вверх см. рис. 5.1).

1-й горизонт — трещиноватая коренная горная порода; первичные трещины слабо расширены;

2-й горизонт — предразрушения; многие трещины существенно расширены;

3-й горизонт — щебнисто-дресвяный; появляются вновь образованные минералы (гидрослюды, хлориты, составляющие незначительную часть горной породы), основная масса — неразложившиеся обломки пород;

4-й горизонт — преобладают гидрослюды, гидрохлориты, иногда опалы, появляются монтмориллонит и каолинит; легко разрушаемые минералы уничтожены полностью;

5-й горизонт — преобладание каолинита (на кислых породах), монтмориллонита (на основных породах), а при близком контакте известняков — гиббсита; появляются полуторные окислы;

6-й горизонт — полуторных окислов — латериты (охра, железняки, гиббсит); на кислых породах этот слой выражен плохо.

По внешнему облику гранит пятого горизонта на первый взгляд похож на невыветрелый. Но стоит взять его в руки, и он рассыпается, полевые шпаты растираются как глина. И только зерна кварца, циркона и некоторых других устойчивых минералов остаются неразрушенными.

Осадочные породы в целом более упорно сопротивляются химическому выветриванию. Существенно кварцевые песчаники и алевролиты или аргиллиты, содержащие глинные минералы, не образуют мощных кор выветривания. Но аркозовые или туфогенные песчаники образуют довольно мощную кору выветривания. Часто можно видеть, как жилы

образованные полевошпатовыми породами (например, аплитовые), окисляются разрушенными — превращенными в гидрослюдисто-каолининовую массу, а вмещающие флишоидные породы (переслаивание тонкозернистых песчаников, алевролитов, аргиллитов) сохранили почти первоначальную прочность, минералогический состав их изменен слабо.

Кора выветривания карбонатных пород — железистая красная глина (терра-росса) — обычно плотным чехлом облекает выходы известняков на ровных элювиальных поверхностях, защищая известняк (или доломит) от дальнейшего разрушения. По трещинам образуются полости — пещеры; ходы, глубоко проникающие в толщу известняков, заполнены щебенкой с глиной, а частично новообразованиями кальцита. Под чехлом терра-росса мы наблюдаем обычно щебнисто-древянный слой, а ниже — слой сильного раздробления горной породы, где среди вновь образованных минералов решительно преобладают гидрослюды. Во влажных тропиках (и субтропиках) среди гидрослюд много монтмориллонита и каолинита.

С позиций рельефа и образования россыпей значение выветривания не ограничивается формированием элювия и кор выветривания. Выветривание, раздробляя породу, создавая глинистые минералы, кардинальным образом меняет предпосылки для перемещения вещества на поверхности литосферы и при этом высвобождает — обособляет — зерна россыпных минералов, создавая условия для их сепарации.

РОССЫПИ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

В корях выветривания раздробленность горных пород коренного источника, так же как и в элювии, существенно облегчает добычу полезного компонента. Но обогащение по сравнению с коренными источниками здесь незначительно, меньше, чем в элювии. В корях выветривания не происходит обогащения за счет смыва твердых частиц и выноса ветром. Контуры россыпей кор выветривания точно совпадают с положением коренного источника, а частицы россыпного минерала совершенно не окатаны. В микрорельефе находит отражение не столько россыпь, сколько площадь, где сохранились коры, вне зависимости от того, содержат они россыпь или нет. С корами выветривания связаны россыпи ряда минералов — олова, алмазов, пьезокварца, ильменита, золота.

Важное значение имеют оловянные россыпи кор выветривания в Юго-Восточной Азии. Здесь известны весьма крупные россыпи. Олово-содержащие коренные породы разрушены местами до глубины 200 м и носят местное название «слоев Гопенга». В несортированном кварцевом материале с обломками размером от валунов до алевролита содержатся угловатые зерна касситерита, а также циркона, топаза и турмалина. Встречаются полностью каолинизированные пегматитовые жилы, несущие лишь следы незначительного перемещения. Примером оловянной россыпи коры выветривания может служить и месторождение Пемали, представляющее собой химически разрушенный до глубины 60 м штокверк размером 300×800 м (в верхнепалеозойских сланцах, близ экзоконтакта массива гранитоидов). Среднее содержание полезного компонента здесь колеблется около 1 кг/т. Отмечается крупность кристаллов касситерита — до 2 см. Под рыхлыми кайнозойскими отложениями на Приханкайской равнине А. Ф. Крымчаниновым (1970) описана кора выветривания, содержащая касситерит. Кора развита по хлоритово-серицитовым сланцам, пронизанным кварц-тур-

малиновыми жилами. Касситерит мелкий (мельче 0,1 мм), располагается гнездами.

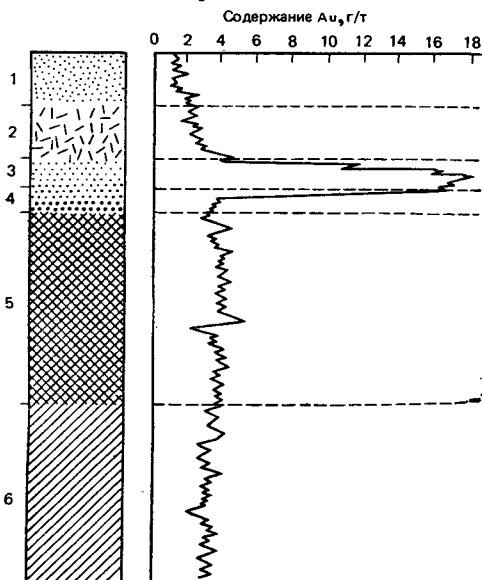
Корой выветривания кимберлитов является материал, выполняющий верхние части кимберлитовых трубок. Согласно В. С. Трофимову (1967), в южноафриканских алмазонасных трубках это мягкая пористая порода, насыщенная карбонатами железа и магния. Цвет ее постепенно меняется от желтого через желто-зеленый до серо-синего (соответственно названия «желтая земля», «голубая земля»). Ниже «голубая земля» переходит в слабо выветрелый кимберлит. Содержание алмазов в этой коре выветривания достигает 0,1—0,3 г/т.

Встречаются ильменитоносные коры выветривания. Примером может служить россыпь в Барзасском районе (Прииртышье), описанная Н. В. Берсеновым и В. Н. Земляниковым (1978). Кора выветривания скрыта под толщей меловых отложений. Ильменит сосредоточен в верхних, частично переотложенных горизонтах коры выветривания.

Золотоносные россыпи кор выветривания могут быть подразделены на две группы: во-первых, россыпи площадных и линейных кор выветривания в основном каолинового или латеритового состава и, во-вторых, россыпи окисленных частей рудных тел, где кора выветривания может быть уплотнена, а минералогический состав достаточно пестрый.

Золотоносные россыпи латеритных кор мощностью 20—30 м, иногда до 60 м, известны и разрабатывались в Австралии, Гвинее, Гане, в Аппалачах. Приурочены они к невысоким плато с почти равнинным рельефом. Из них подняты наиболее крупные самородки. Содержания на отдельных участках достигали нескольких граммов на тонну.

Россыпи зон окисления сульфидных руд (по В. И. Смирнову) обычно делятся на три зоны: I зона окисления, подразделяющаяся на под-



зоны окисленных, щелоченных, богатых окисленных; II зона вторичного обогащения и III зона первичных руд. В зонах окисления сульфидных руд изменены не столько вмещающие породы, сколько сульфиды, насыщающие зоны. Зоны отсутствуют в полярном климате, зона же сульфидного обогащения хорошо развита в сухом тропическом климате, а иногда и в сухом умеренном. Зона вторичного обогащения

Рис. 5.3. Содержание золота в верхней части колчеданных месторождений (по Г. В. Нестеренко, 1977): 1 — «железная шляпа»; 2 — опало-ярозитовая порода; 3 — кремнисто-гипсовая «сыпучка»; 4 — сульфидная «сыпучка»; 5 — сульфатно-сульфидное обогащение; 6 — первичная руда

формируется в результате переотложения таких металлов, как медь, железо, серебро. Некоторые геологи полагают, что перераспределению подвергается и золото. При этом формируются частицы золота относительно крупных размеров. По Г. В. Нестеренко, содержание золота

увеличивается в верхней части разреза колчеданных месторождений (рис. 5.3). Изучение Н. В. Петровской золота из зон окисления показало, что частицы золота имеют крупнокристаллическую структуру, т. е. такую же, как и в эндогенных месторождениях, и накопление золота происходит за счет того, что при механическом и химическом выносе пустой породы в элювии на некоторой глубине и возникают повышенные концентрации. Золото, содержащееся в сульфидах, при разрушении последних переходит в раствор. Действительно, в водах речек золотоносных районов в растворе содержится некоторое количество золота.

Оценивая имеющийся фактический материал, пока мало оснований для того, чтобы предполагать формирование россыпеобразующих крупных частиц в зонах окисления сульфидов, хотя эта гипотеза в разных вариантах широко распространена.

ЗНАЧЕНИЕ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ И КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

Россыпи элювиальные и кор выветривания среди всех видов россыпей занимают не ведущее положение. Лишь незначительная часть золота, платины, титансодержащих минералов добывается из элювиальных россыпей. Это происходит по двум причинам. Во-первых, в ходе выветривания почти не происходит удаления «пустой породы» и элювий по сравнению с исходной коренной породой в большинстве случаев лишь в малой степени обогащен полезным компонентом. Во-вторых, объемы горной массы элювиальной россыпи, как правило, невелики и поэтому неудобны для отработки мощными техническими устройствами. Элювиальная россыпь лишь поверхностная пленка — часть коренного месторождения.

Большее значение для промышленности имеют элювиальные россыпи кор выветривания олова, горного хрусталя, алмазов, если рассматривать как элювиальную россыпь выветрелую массу в верхних горизонтах алмазных трубок взрыва. Элювиальные россыпи этих минералов часто имеют крупное промышленное значение и интенсивно разрабатываются.

При поисках рудных месторождений россыпных минералов, т. е. их коренных источников, основное — проследить путь движения россыпного минерала, что приводит исследователя от аллювиальных и морских россыпей к элювиальной россыпи. По существу, это и является открытием коренного месторождения.

Глава 6

РОССЫПИ СКЛОНОВ (ДЕЛЮВИАЛЬНЫЕ)

Основные сведения о генезисе и строении склонов
Разновидности россыпей, формирующихся на склонах
Собственно склоновые (делювиальные) россыпи
Аллювиально-склоновые (аллювиально-делювиальные) россыпи

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕНЕЗИСЕ И СТРОЕНИИ СКЛОНОВ

Склонами называются поверхности земной коры, на которых перемещение вещества Земли происходит при непосредственном и решающем воздействии силы тяжести. Обычно это поверхности круче 1—3°.

Кроме крутизны, формы и длины склон имеет и определенное строение. Слагающие его рыхлые массы грунта имеют специфическую текстуру и называются склоновыми образованиями. Если в их толще находятся россыпные минералы и их концентрация достаточно велика, то они рассматриваются как россыпь.

Еще не так давно было принято считать, что в основном преобразование склонов происходит в результате смыва плоскостного, струйчатого или бороздчатого, а поэтому склоновые образования назывались «делювием», а склоновые россыпи — «делювиальными». Теперь очевидно, что среди россыпей, приуроченных к склоновым образованиям, почти совершенно нет действительно делювиальных. Но термин этот укоренился, и менять его нет смысла. Однако надо иметь в виду, что под «делювиальными россыпями» понимаются все россыпи склоновых образований. На рис. 6.1 представлено соотношение склона (включая его крутизну, длину, форму и строение) с теми силами, которые его создали и действуют на нем, теми условиями, в которых протекает этот процесс, и тем субстратом, на котором формируется склон.



Рис. 6.1. Схема взаимосвязей при формировании склона. Толщина стрелок (широкая, средняя и тонкая) и их число отражают силу влияния различных факторов

Так как склоны составляют около 90% поверхности суши, то в основном выветривание горных пород протекает на склонах. Выветривание на ровных поверхностях междуречий — явление, распространенное ограниченно. На склонах обломки движутся, при этом стираются их грани и обламываются ребра. Движутся вниз по склону и растворы в толщах склоновых образований, систематически удаляя продукты химического разрушения. По мере сноса склоновых образований в сфере выветривания оказываются все новые порции подстилающей горной породы.

При склоновых процессах, протекающих быстро (обвалы, осыпи, лавины, оползни), специфика выветривания на склонах не успевает проявиться полностью. Однако в природе наиболее распространены склоны с медленными движениями массы обломков («massen bewegungen», по В. Пенку). На них материал движется тысячи и десятки тысяч

лет, пока от вершинной части междуречья достигнет подошвы склонов. Именно процесс медленного смещения чехла обломков составляет существо развития склонов. Обвалы, лавины, оползни и другие быстротекущие процессы протекают на гораздо меньших площадях.

В ходе перемещения обломочный материал, сползающий в результате медленных движений вниз по склону, постоянно подвергается воздействию физического и химического выветривания. Приуроченное к поверхности высокоградиентное температурное выветривание за время перемещения обломка от вершины до подошвы успевает воздействовать на значительную часть грубообломочного материала (щебень, глыбы), поскольку в чехле склоновых образований происходит перемешивание и выведение на поверхность то одного, то другого обломка. Низкоградиентное температурное и морозное выветривание тоже разрушает грубообломочный материал, заключенный в чехле склоновых образований.

В результате суммы процессов физического выветривания механический состав склоновых отложений вниз по склону изменяется. Увеличивается содержание мелких фракций. К выветриванию добавляется растирание и дробление обломков в ходе смещения. Следы его мы видим в «свежеразломленных» обломках, извлекаемых из шурфов, в царапинах на поверхности крупных обломков. 80—90% обломков из склоновых образований имеют заглаженные ребра. В ходе движений измененная выветриванием корочка на поверхности обломков стирается, и растворы, циркулирующие в толще слоя склоновых образований, соприкасаются со свежей породой внутренней части обломка. Благодаря этому в склоновых образованиях многочисленны «оглаженные» обломки, внешне напоминающие плохо окатанную гальку.

Смещающийся по склону чехол обломков воздействует на подстилающую «разборную скалу», расширяя трещины, «заворачивая» вниз по склону головы слоев, жил, прослоев, подходящих к его подошве, выламывает, сдирает, отшлифовывает поверхность «разборной скалы».

Весьма существенно, что высвобождение россыпных минералов в основном происходит на склонах. Это достаточно хорошо известно. Еще Ю. А. Билибин (1955) писал: «В делювии этот процесс (высвобождение россыпных минералов из породы) идет более интенсивно, нежели в элювии, так как элювиальный материал находится в относительном покое, и даже сильно выветрелые куски руды не распадаются, предохраняя тем самым внутренние части от выветривания. Делювиальный (склоновый) материал находится в постоянном движении, и возникновения в куске руды трещин достаточно для того, чтобы вскоре же он распался на более мелкие обломки».

Химическое выветривание воздействует на ползущий по склону обломочный материал с большей интенсивностью, чем на элювий. Растворение, гидратация, гидролиз протекают и здесь. При этом возникают и вторичные глинистые минералы.

В дальнейшем мы будем различать следующие склоновые процессы.

1. Обваливание, осыпание, перенос материала лавинами и «отседание» склонов.
2. Оползни.
3. Массовое движение обломков на склонах, обычно медленное, но временами быстрое. Оно может быть подразделено на: а) солифлюкцию полярных районов — быстрое течение грунтов жидкотекучей консистенции; б) медленную солифлюкцию — движение постоянно влаж-

ных грунтов, обладающих вязкотекучей консистенцией, и как ее разновидности — тропическую солифлюкцию; в) послойное сползание грунтов (талых по мерзлым); г) сползание, сопровождающееся интенсивным вымерзанием на поверхность крупных глыб, сползание курумов; д) дефлюкцию — сползание вязкопластичного грунта; е) десерпцию — сползание сыпучих масс, сухих или почти сухих.

4. Делювиальный смыв: а) путем переноса во взвешенном состоянии глинистых частиц и алеврита; б) путем перекачивания песчаных частиц по поверхности; в) путем переваливания крупных обломков при «подкапывании» их струями воды снизу. Смыв при уклонах более 15—20° концентрируется по бороздам.

При переносе материала обвалами, осыпями, лавинами, оползнями (всех видов), при отседании склонов обогащения полезным компонентом не происходит, но неизбежно разубоживание, смешение обломков рудного тела и вмещающих пород. Поэтому россыпи в этих отложениях формируются только в исключительных случаях — при очень богатых и больших по площади коренных источников.

В делювии, являющемся результатом смыва тонкого и легкого материала, также не может возникнуть россыпей. Скорости сбегающей струями воды измеряются десятками сантиметров в секунду, и даже при сильных ливнях частицы тяжелых минералов не переносятся. Однако делювиальный процесс на денудационных частях делювиальных склонов (откуда происходит смыв) может приводить и приводит к обогащению самых поверхностных горизонтов минералами тяжелой фракции, особенно их крупными зернами. На поверхностях, откуда происходит смыв, в самом поверхностном горизонте возрастает доля грубых частиц, дресвы и щебня. При смыве с поверхности склона сносятся легкие и мелкие частицы. Следовательно, делювиальные россыпи приурочены к толще обломков, хорошо промытых и находящихся в зоне смыва дождевыми и талыми водами.

Толщи склоновых отложений, медленно ползущих вниз в результате дефлюкции и послойного соскальзывания, обладают разной структурой на различной глубине. Обычно выделяют четыре горизонта: 1) вертикальнотрещиноватый; 2) слоеватый; 3) кос; 4) «разборной скалы». Чехол склоновых образований на склонах крутизной 3—25° имеет мощность не более 1,5—3,0 м (в зависимости от длины склона, литологии коренных пород, особенностей увлажнения).

В зоне соприкосновения с разборной скалой в смещение вовлекается ее верхний слой. В этом горизонте структура коренной породы уже частично нарушена, но перемешивания обломков породы еще нет. Если в толще коренной породы отчетливо выделяются разноокрашенные или отличные по составу жилы или слои, то их переход в подвижные горизонты отмечен полосами, «завернутыми» и вытянутыми вниз по склону, — «косами». Самый нижний горизонт представляет собой коренную породу, разбитую трещинами. Это разборная скала. Вся ее масса смещена всего на несколько сантиметров.

Попутно с формированием слоеватой структуры в толще склоновых образований происходят процессы пучения и трещинообразования. В тщательно зачищенных стенках шурфов отчетливо видны сложные деформации слоев, клинообразные тела, пересекающие толщу склоновых образований. Благодаря процессам пучения и трещинообразования в рыхлых склоновых образованиях происходят перемешивание обломков, поднятие к поверхности одних, опускание других.

В нижних частях склонов большой длины толща склоновых обра-

зований, кроме того поверхность горизонты, постоянно насыщена водой и обладает вязкотекучей консистенцией. При постоянном избыточном увлажнении склоновые образования, существенно обогащенные мелкоземом (50%), имеют вязкотекучую консистенцию и перемещаются в результате медленного вязкого течения. Вследствие этого поверхность склона не может иметь уклон более 6—8°. В зависимости от содержания скелетного материала (обломков песчано-гравийных фракций и крупнее) меняются степень текучести обломочной массы и угол наклона ее поверхности (вплоть до 1—3°). Содержание скелетного материала колеблется в склоновых образованиях в широких пределах. При содержании мелкозема (частиц менее 1 мм) 45—60% скорости движения достигают нескольких десятков миллиметров в год.

Благодаря насыщению влагой рыхлого чехла процессы пучения и трещинообразования распространены здесь гораздо шире, чем на склонах послыйного соскальзывания. Это находит выражение в наличии бесчисленных бугров пучения, которые возвышаются над межбугровыми пространствами, часто залитыми водой, на 0,5—1,0 м. В поперечнике бугры имеют 5—6 м.

На склонах, формируемых медленной солифлюкцией (вязким течением), при хорошей зачистке стенок удается наблюдать следующие горизонты: 1) поверхностный, периодически сухой; 2) вязкого течения без структуры; 3) горизонт кос — маломощный (и не всегда констатируемый); 4) трещиноватая горная порода.

Обычно вязкое течение имеет наибольшие скорости в пределах пологих понижений — деллей, вытянутых в направлении наибольшего уклона склона. Ю. А. Билибин (1955), оценивая роль деллей, пишет: «Являясь путями максимального перемещения делювия, делли стягивают к себе обломочный материал с расположенных между ними участков. Так как иногда они бывают очень слабо выражены в рельефе, то нужно очень внимательное исследование склона, чтобы установить направление перемещения делювия, что чрезвычайно важно при поисках золоторудных месторождений, особенно в сильно задернованных районах».

На некоторых участках склонов крупные обломки (размером 3—100 см в поперечнике) в результате пучения и трещинообразования выворачиваются на поверхность, а вмещающий мелкозем проваливается или смывается в промежутки между ними. В результате поверхность оказывается покрытой глыбами. Такие склоны называют курумами, а скопления обломков на дне понижений — каменными реками.

Существует гамма переходов от обычных дефлюкционных склонов к курумным, что позволяет считать закурумленные склоны и курумы разновидностью склонов массового смещения. Они занимают большой процент площади (30—70%) в гольцах гор Дальнего Востока, Южной Сибири, Урала. Они наблюдаются в Тянь-Шане, на Кавказе, в Карпатах, но здесь они занимают малый процент площади. В лесной зоне доля площади, занятой курумами, гораздо меньшая, чем в гольцовой. Ю. А. Билибин пишет, что при разрушении пород, дающих крупнообломочный материал, перемешивание делювия (дефлюкция) легко приводит к образованию каменных россыпей.

Многочисленные наблюдения над строением курумов позволяют в следующем виде представить их типичный разрез.

1. Глыбовый материал, рыхло лежащий, иногда очень неустойчиво. Мощность 0,5—1,2 м.

2. Глыбы, включенные в суглинок. Суглинок льдистый большую часть года. В холодные годы лед сохраняется все лето. Особенно обо-

гашена льдом гашена льдом нижняя часть. На склонах северной экспозиции, а также по ложбинам на склонах лед преобладает над минеральной составляющей суглинка, и иногда шурфы вскрывают чистый лед в виде сплошного пласта. Мощность 0,6—1,4 м.

3. Суглинок с глыбами (недавно оторванными от коренной породы). Мощность 0,3—0,7 м.

4. Испытавшая незначительное (десятки сантиметров) смещение раздробленная коренная порода (горизонт кос). Мощность 0,2—0,5 м.

5. Раздробленная порода — разборная скала. Мощность 0,2—2,0 м.

6. Горная порода, трещины которой находятся в начальной стадии расширения. Мощность 1—10 м (горизонт «предразрушения»).

7. Горная порода, не затронутая процессами эпигенеза.

Подводя итог сказанному, следует заметить, что роль медленных движений грунта в формировании склонов обычно недооценивается. Даже Ю. А. Билибин говорит об этом процессе осторожно, хотя, по существу, и рассматривает его как единственный процесс формирования склонов. Делювиальному смыву приписывается непомерно большое значение. В действительности при сомкнутой дернине делювиальный смыв абсолютно исключается, при несомкнутой дернине при углах наклона менее 15° он не играет почти никакой роли. Только на распаханном или на насыпном грунте струйчатый плоскостной смыв может приобрести существенное значение в преобразовании склонов.

РАЗНОВИДНОСТИ РОССЫПЕЙ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ НА СКЛОНАХ

В соответствии с генезисом россыпи в склоновых образованиях можно разделить на четыре вида.

1. Собственно склоновые (делювиальные) россыпи, сформировавшиеся в результате собственно склоновых процессов.

2. Склоново-аллювиальные (делювиально-аллювиальные) россыпи. В их формировании кроме собственно склоновых принимали участие и флювиальные процессы. Это россыпи вершинных разветвлений долинной сети, россыпи логов (распадка), отложения на днищах которых занимают промежуточное положение между аллювием и склоновыми образованиями. Поскольку существенную роль в их формировании принимают флювиальные процессы, мы будем их рассматривать в главе, посвященной россыпям малых флювиальных форм.

3. Аллювиально-склоновые россыпи (аллювиально-делювиальные), формируемые склоновыми процессами, но не за счет поступления полезного компонента из коренного источника или продуктов его разрушения, а за счет перемещения склоновыми процессами материала террасовых россыпей.

4. Марино-склоновые (марино-делювиальные) россыпи. В ходе склоновых процессов могут разрушаться морские рыхлые отложения, содержащие полезный компонент.

СОБСТВЕННО СКЛОНОВЫЕ (ДЕЛЮВИАЛЬНЫЕ) РОССЫПИ

Россыпи, приуроченные к склонам массового движения материала, составляют 80—90% склоновых (делювиальных) россыпей.

На рис. 6.2 видно, что повышенное содержание полезного компонента образует ореолы, примыкающие к выходам кварцевых жил или магматических пород на поверхности склонов. Вниз по склонам от кварцевых жил и даек порфиритов и порфиров содержания металла в

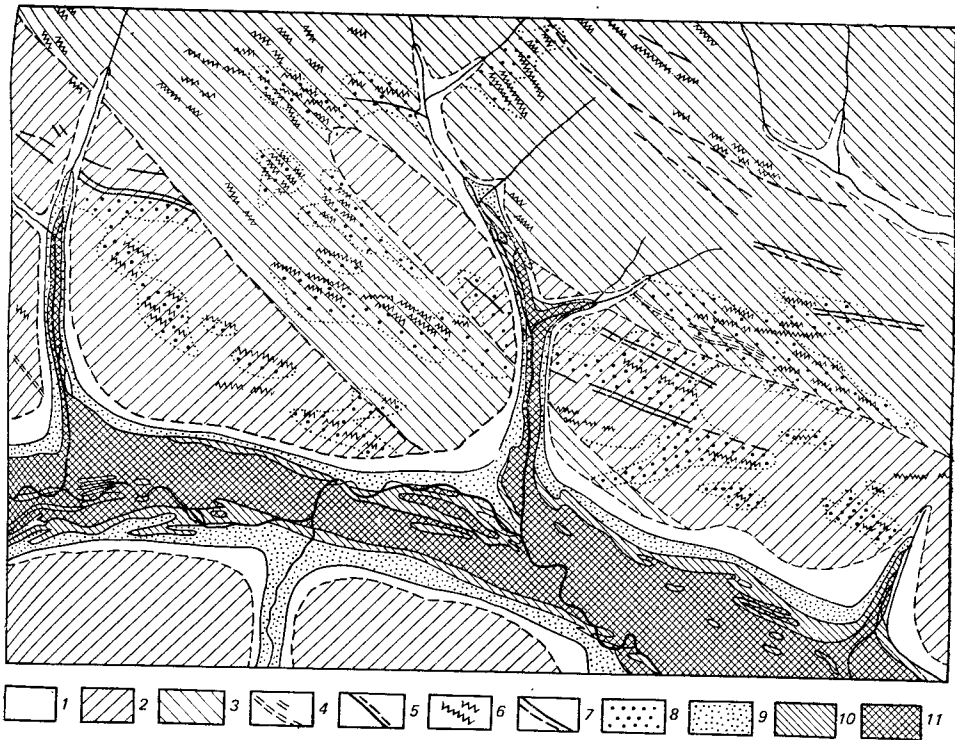


Рис. 6.2. Соотношения склоновых (дефлюкционно-солифлюкционных) россыпей с кварцевыми жилами и дайками по склонам долин (по Н. А. Шило, с упрощением): 1—аллювиальные отложения; 2—щербисто-суглинистые склоновые образования, подстилаемые сланцами; 3—то же, подстилаемые песчаниками; 4—дайки порфировые; 5—дайки порфировые; 6—кварцевые жилы; 7—минерализованные зоны дробления; 8—элювиальные и дефлюкционные отложения, содержащие полезный компонент; 9—отдельные знаки металла в аллювии; 10—аллювий со значительным содержанием полезного компонента; 11—аллювий с высоким содержанием полезного компонента

толще склоновых образований постепенно уменьшаются, т. е. толщина склоновых образований разубоживается.

Распределение полезного компонента в толще также меняется. Первоначально, вблизи коренного источника, золото приурочено к самым нижним 30—50 см толщи. Ниже по склону знаки встречаются по всей толще, хотя все же больше в нижних частях разреза (рис. 6.3).

Перемещение частиц рудных минералов из нижних горизонтов склоновых образований в верхние, в ходе смещения материала вниз по склону, фиксируется повсеместно. Вместе с тем наблюдается и явление «проседания тяжелых частиц вниз в толщу склоновых образований». Это отчетливо видно из табл. 6.1. Для большинства разрезов склоновых образований на Северо-Востоке СССР, в Приамурье, Енисейском крае отчетливо прослеживается обогащенность полезным компонентом нижних горизонтов склоновых образований.

В работе Н. А. Шило и Ю. В. Шумилова (1976) приведены экспериментальные данные о проседании золота в искусственной породе, в слое толщиной 10 см при 20-кратной режеляции. Проседание происходит по микрослоям и трещинам, заполняющимся при замерзании льда. Таким образом, проседание тяжелых минералов в условиях по-

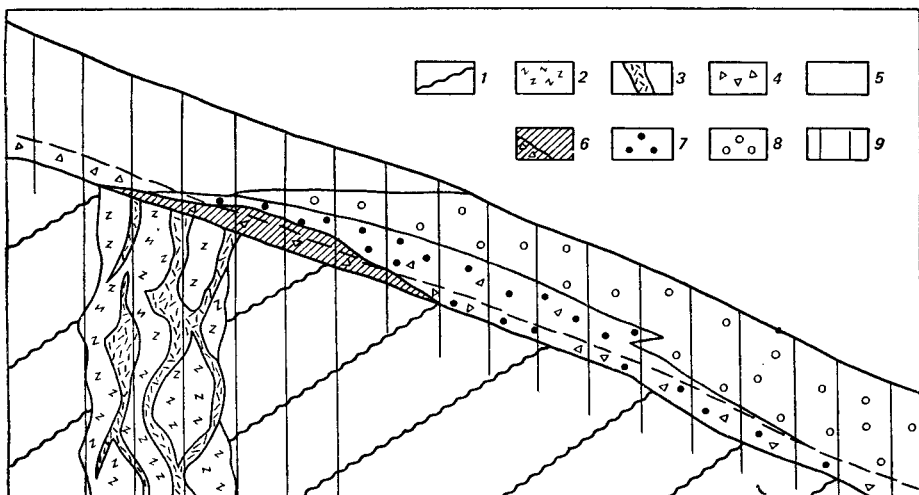


Рис. 6.3. Распределение полезного компонента в склоновых образованиях близ выхода коренного источника:

1 — песчаники и сланцы; 2 — брекчированная горная порода, пронизанная тонкими кварцевыми прожилками, содержащими полезный компонент; 3 — рудные кварцевые жилы, содержащие полезный компонент; 4 — щебень рудных жил; 5 — склоновые образования (суглинок со щебнем); 6 — высокие содержания полезного компонента в склоновых образованиях; 7 — средние содержания полезного компонента в склоновых образованиях; 8 — низкие содержания полезного компонента в склоновых образованиях; 9 — горные выработки

Таблица 6.1

Соотношение минералов легче и тяжелее $3,5 \text{ г/см}^3$ из шлихов склоновых образований (составлена И. Э. Логиновой)

| Породы, слагающие склон | Глубина от поверхности, м | Содержание минералов разного удельного веса, % | | Соотношение I:II |
|-------------------------|---------------------------|--|------------------------------|------------------|
| | | I <3,5 г/см ³ | II >3,5 г/см ³ | |
| Гранит | 7,2 | 66,5 | 18,5 | 3,5 |
| | 8,0 | 57,5 | 22,5 | 2,5 |
| | 10,0 | 51,5 | 31,0 | 1,8 |
| Гранодиорит | 1,0 | 97,0 | 3,0 | 32,1 |
| | 3,0 | 97,0 | 3,0 | 32,1 |
| Гранит | 1,0 | 55,5 | 36,5 | 1,5 |
| | 2,0 | 22,5 | 63,5 | 0,3 |
| | 3,0 | 36,0 | 48,5 | |
| То же | 1,25 | 43,6 | 36,4 | 1,2 |
| | 2,0 | 32,0 | 68,0 | 0,45 |
| То же | 1,0 | 16,5 | 74,0 | 0,23 |
| | 2,2 | 2,0 | 91,0 | 0,022 |
| Гранодиорит | 0,5 | 95,5 | 4,5 | 21,5 |
| | 1,0 | 76,5 | 23,5 | 3,3 |
| | 1,5 | 31,0 | 69,0 | 0,4 |

Примечание: оставшийся в шлихе после промывки кварц не включался в состав легкой фракции.

переменного промерзания и оттаивания на территориях с суровым климатом не вызывает сомнений.

В областях с жарким климатом проседанию способствует возникновение трещин усыхания, по которым тяжелые частицы при небольшом импульсе, вызываемом просачиванием воды, проникают в глубь породы.

С удалением от коренного источника вниз по склону доля полезного компонента падает за счет поступления в склоновые образования все новых порций «пустой» породы. Значительные содержания (промышленные или близкие к ним) в результате проседания тяжелых частиц сохраняются в маломощном нижнем слое на некотором расстоянии от коренных выходов. Это расстояние зависит от богатства коренного источника и интенсивности поступления «пустой» породы. Мощность обогащенного слоя незначительна (до 1 м, чаще менее 0,5 м).

Форма склоновых (делювиальных) россыпей в плане и их размеры зависят от следующих факторов: 1) содержаний в коренном источнике и размеров последних; 2) формы коренного выхода в плоскости сечения склоном; при линейном коренном выходе — от соотношения в плане его простираия и направления падения склона; 3) процессов смещения материала на склоне.

При больших размерах коренного источника велик в плане и контур делювиальной россыпи. При этом высокие содержания близ выходов хотя и падают вниз по склону в результате вовлечения в движение пустой породы, но в нижнем слое на большом расстоянии (300—800 м) сохраняют промышленные параметры. Если рудопроявление небольшого размера, то промышленные содержания могут и не возникнуть в склоновых образованиях. Если же возникнут, то исчезнут в нескольких десятках метров вниз по склону.

Строение россыпи в зависимости от положения и формы выхода коренного источника на склоне видно на рис. 6.4. Следует подчеркнуть, что ореол рассеивания россыпного минерала немного расширяет-

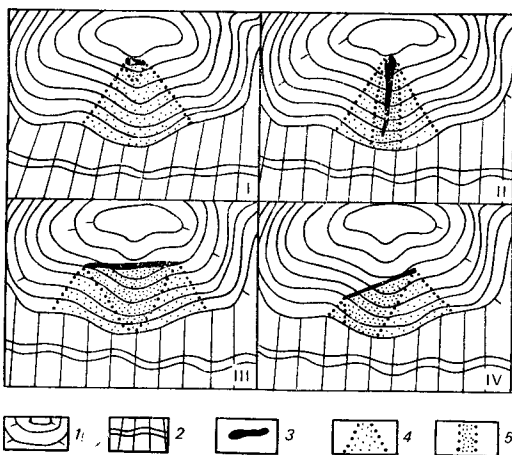


Рис. 6.4. Схема ореола рассеивания полезного компонента и контура наибольшего обогащения на склоне вблизи коренного источника (по Ю. А. Билибину, 1956):

1 — склон, горизонталь; 2 — пойма, русло реки; 3 — выход коренного источника в основании склоновых образований; 4 — ореол рассеивания полезного компонента; 5 — контур наибольшего обогащения

ся вниз по склону, контур же наибольшего обогащения становится уже.

Собственно склоновым (делювиальным) россыпям свойственны следующие особенности.

1. Тесная связь с коренными источниками или с элювиальными россыпями. Склоновые россыпи простираются вниз по склону от коренных источников. Свойства полезного компонента (пробность, размеры и форма частиц) всегда близки к тому, что можно отметить для коренного источника.

2. Промышленный пласт собственно склоновых россыпей имеет небольшую мощность: редко 1 м, чаще 0,5 м и менее. Даже в случае, если мощность склоновых образований повышенная, что иногда наблюдается в нижней части склона, мощность пласта не более 1 м. Пласт располагается близ самой подошвы горизонта движения, а также в горизонте кос и отчасти в горизонте разборной скалы.

3. В плане склоновые россыпи имеют форму сектора или полосы с наиболее богатой верхней частью, примыкающей к коренному источнику.

В целом делювиальные россыпи золота очень многочисленны, но промышленно ценных мало.

АЛЛЮВИАЛЬНО-СКЛОНОВЫЕ (АЛЛЮВИАЛЬНО-ДЕЛЮВИАЛЬНЫЕ) РОССЫПИ

Эти россыпи возникают при разрушении россыпей речных террас. Обычно на профиле отчетливо виден террасовый источник и видно, как россыпь «сползает» с цоколя террасы, перекрытой склоновыми образованиями (рис. 6.5,А). На рис. 6.5,Б перед нами другой случай. Суб-

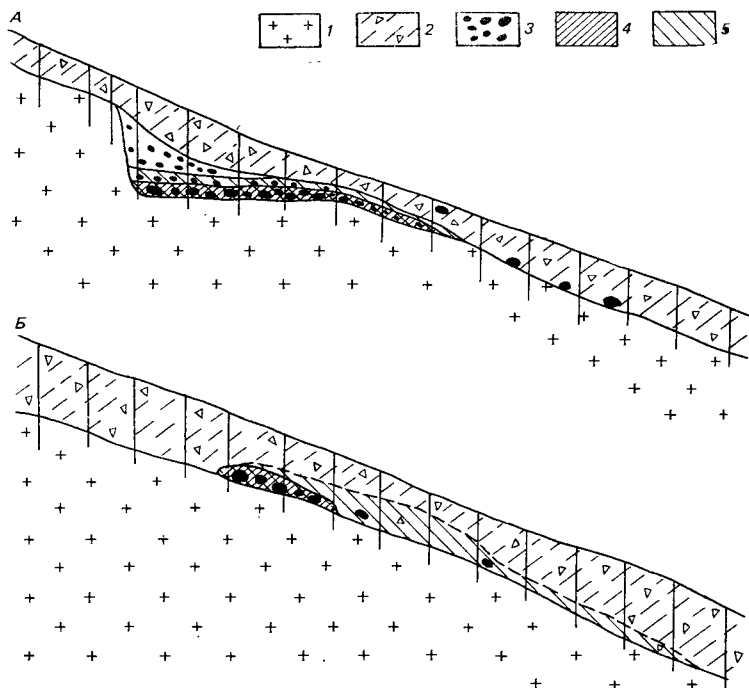


Рис. 6.5. Профили через аллювиально-склоновые россыпи (на разных стадиях разрушения террасовой россыпи склоновыми процессами):

1 — коренные горные породы; 2 — склоновые образования — щебнисто-глибовые суглинки; 3 — аллювий и галька, переотложенная из аллювия; 4 — контур россыпи; 5 — контур распространения знаков полезного компонента

горизонтальный цоколь уничтожен (срезан) сползающими склоновыми образованиями. Полезный компонент перемещен в склоновые суглинки, равно как песок и галька аллювия. В разрезах, составленных по

разведочным поперечникам, можно видеть, что галька смещена вниз по склону дальше, чем основная масса тяжелых минералов.

Аллювиально-склоновых россыпей золота довольно много во всех золотоносных районах; встречаются промышленные оловянные россыпи этого типа. В табл. 6.2 представлен пример полного преобразования

Таблица 6.2

Распределение золота в поперечном разрезе аллювиально-склоновой россыпи, мг

| Глубина от поверхности | № скважины и условная отметка устья, м | | | | | | | | | |
|------------------------|--|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-----------|
| | 42 7,0 | 44 6,8 | 46 6,7 | 48 6,4 | 50 6,3 | 52 6,1 | 54 5,9 | 56 5,6 | 58 5,4 | 60 5,2 |
| 0,2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0,4 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0,6 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0,8 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1,0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1,2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1,4 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1,6 | <u>0,39</u> | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1,8 | <u>0,95</u> | — | — | — | 4,8 | 0,35 | — | — | — | — |
| 2,0 | <u>0,64</u> | — | — | <u>3,43</u> | <u>15,4</u> | 2,69 | — | — | — | — |
| 2,2 | — | — | — | <u>7,51</u> | <u>14,0</u> | <u>3,29</u> | — | <u>0,07</u> | — | — |
| 2,4 | — | <u>0,04</u> | — | 5,02 | 10,0 | 3,80 | — | 0,04 | — | — |
| 2,6 | — | 0,07 | — | 6,68 | 4,0 | 2,26 | — | 0,07 | — | — |
| 2,8 | — | <u>0,04</u> | — | <u>2,40</u> | <u>2,35</u> | 2,54 | — | 0,04 | <u>0,22</u> | — |
| 3,0 | — | — | — | — | — | <u>0,05</u> | — | <u>0,02</u> | 0,71 | — |
| 3,2 | — | — | — | — | — | — | — | — | 1,28 | — |
| 3,4 | — | — | — | — | — | — | — | — | 2,70 | — |
| 3,6 | — | — | — | — | — | — | — | — | <u>1,77</u> | — |

Примечание: одинарной линией показана граница щебнистого суглинка и щебня (раздробленной коренной породы). Двойной линией показана граница щебня и несмещенной горной породы.

аллювиальной россыпи в аллювиально-делювиальную. Скважины 46 и 54 пустые. В основании россыпи пустая коренная порода; в приповерхностных склоновых образованиях до глубины 1,6 м также пусто. В трех скважинах (48, 50, 52) содержания полезного компонента очень большие, преобладают крупные частицы золота. Ниже и выше по склону содержания не более чем знаковые.

В отличие от собственно склоновых аллювиально-склоновых россыпей много. Из них получено немало металла. Их поиски, разведка и отработка велись параллельно с аллювиальными россыпями террасовалов и террас. Одна из таких россыпей показана на рис. 6.6.

Делювиальные россыпи касситерита (промышленные) довольно многочисленны. Они широкими полосами, тянущимися к днищам долин, сопровождают коренные источники. Содержания в них обычно ниже, чем в коренных и постепенно убывают вниз по склону. Мощность россыпи немного меньше мощности склоновых образований.

В Индонезии известны многочисленные и богатые элювиально-де-

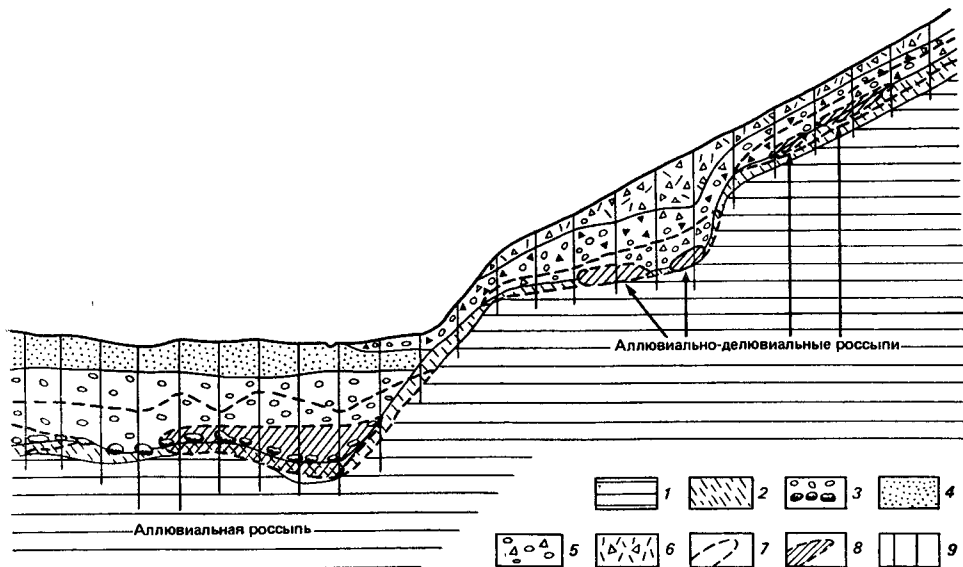


Рис. 6.6. Литологический разрез через склон и прилегающую часть дна долины: 1 — коренные горные породы (монокристаллические); 2 — коренные горные породы раздробленные; 3 — русловый аллювий; 4 — пойменный аллювий; 5 — щебень и галька с суглинком; 6 — суглинок со щебнем; 7 — контур весовых содержаний полезного компонента; 8 — контур промышленных содержаний; 9 — горные выработки

лювиальные отложения типа крикилл, возникающие при размыве элювиальных оловоносных россыпей. Существенного перемещения, характерного для аллювиальных россыпей, здесь не наблюдается, хотя дальность перемещения обломков руды от коренных источников достигает сотен метров. Россыпи крикилл древние, очень богатые, обычно приурочены к длинным склонам крутизной 7—15° значительных возвышенностей (см. рис. 5.2).

Делювиально-аллювиальные россыпи алмазов, хотя и разрабатываются при разработке коренных источников, но в общем балансе добычи алмазов не играют существенной роли. Минералы с удельным весом, лишь немного превышающим средний удельный вес горных пород (например алмаз), располагаются в толще склоновых образований менее закономерно. К тому же находки алмазов немногочисленны и точно не привязаны. Склоновые россыпи горного хрусталя обычно смыкаются с элювиальными и ложковыми россыпями. Часто это довольно богатые россыпи. В целом склоновые (делювиальные) россыпи, если не считать аллювиально-склоновых, имеют гораздо меньшее значение, чем элювиальные.

ФОРМИРОВАНИЕ ДОЛИННОЙ СЕТИ И ОБРАЗОВАНИЕ РОССЫПЕЙ

Вводные замечания

Размер и порядок долин

Перенос реками наносов

Врезание и эрозия; аккумуляция и отложение

ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Большинство промышленных россыпей, особенно россыпей золота и платины, приурочено к аллювию. Многочисленны аллювиальные россыпи касситерита, вольфрамовых минералов, пьезокварца. Есть аллювиальные и дельтовые россыпи ильменита, рутила, циркона. Чтобы постичь процессы формирования аллювиальных россыпей, необходимо хорошо понимать закономерность деятельности водных потоков, создающих долины рек и формирующих в них толщи аллювия.

Река не только создает аллювиальные россыпи, но в ходе развития долины преобразует их, разрушает, захоранивает. Для поисков россыпей изучение этой стороны деятельности рек имеет особенно большое значение, не меньшее, чем выявление закономерностей образования россыпей. К настоящему времени исследователи располагают огромным материалом по строению и расположению россыпей. Выявлены общие закономерности формирования россыпей, подмечено множество деталей. В общем хорошо известно, как и где образуется аллювий, содержащий россыпь. Хуже известно, как, при каких условиях и где сохраняются россыпи от разрушения. В наше время это требует основного внимания.

Для понимания закономерностей образования россыпей, их сохранения и размещения необходима реконструкция истории формирования речных долин и всего рельефа золотоносных районов. Рассмотрение закономерностей формирования флювиального рельефа ведется в работах по общей геоморфологии. В трех последующих главах рассмотрены лишь те стороны этого процесса, которые важны для понимания закономерностей формирования и сохранения россыпей.

РАЗМЕР И ПОРЯДОК ДОЛИН

Воздействие текущей воды на поверхность суши выражается в формировании системы эрозионных форм (долинной сети) и аккумулятивных форм, в том числе дельт и аккумулятивных равнин. Одновременно происходят транспорт наносов и образование осадков — аллювиальных толщ. Выработанность долинной сети — глубина и густота расчленения поверхности, ширина речных долин — зависит от четырех основных факторов: 1) количества стекающей воды; 2) скорости ее течения; 3) сопротивляемости субстрата эрозии; 4) длительности воздействия эрозии. Множество других факторов, влияющих на выработанность и особенности долинной сети, необходимо учитывать лишь в случаях, когда интересуют какие-либо специфические детали и аномалии.

Количество воды, стекающей с единицы площади, измеряется разностью между количеством выпадающих осадков и испарением ($л/с \cdot км^2$) и просачиванием. Его оценивают слоем стока (мм/год) или

модулем стока. Система водотоков, дренирующих земную поверхность, образует речную сеть, как паутиной опутывающую поверхность. Хотя эрозия водотоков имеет линейный характер, ее воздействие сказывается на всей площади бассейна, поскольку вода стекает со всех частей бассейна и его поверхность всегда испещрена системами взаимосвязанных водотоков. Густота речной сети измеряется длиной водотоков, приходящейся на единицу площади. В результате размыва поверхности формируется долинная сеть — сеть эрозионных форм. В зависимости от высоты над уровнем моря, определяемой тектоническим фактором, различается глубина эрозионных форм, а для территории в целом — глубина эрозионного расчленения. Интенсивность эрозии, густота, глубина долинной сети оцениваются в числах.

Эрозионные формы различны по размерам. Малые эрозионные формы (водороины, эрозионные борозды, промоины) по большей части имеют глубину менее 1 м. Их не рассматривают обычно как настоящие флювиальные формы и не считают при измерении густоты долинной сети. По дну настоящих долинных форм водный поток протекает если не постоянно, то систематически. Даже крупные реки не действуют непрерывно, они могут пересыхать летом или при засухах, а в высоких широтах полностью перемерзнуть. Так что нельзя считать долиной только такую эрозионную форму, по которой водный поток протекает постоянно.

Сочетания водотоков и эрозионных форм в плане могут иметь различную конфигурацию, что определяется неоднородностью субстрата. Различают древовидную речную (долинную) сеть, решетчатую (ортогональную), перистую, радиальную, концентрическую.

Водотоки (и долины) принято делить на порядки. В настоящее время обычно пользуются системой деления Хортон — Страллера, согласно которой к первому порядку относят водотоки, не имеющие притоков. Из слияния водотоков первого порядка образуется водоток второго порядка и так далее. При этом впадение водотоков низкого порядка не увеличивает порядкового числа. Так, при перистой речной сети в водоток второго порядка может впадать 20 водотоков первого. Река при этом становится достаточно многоводной, но порядок ее остается вторым. При указании порядка водотока необходимо отмечать и порядок водотока, в который он впадает. Водоток первого порядка может впадать в водоток и второго, и десятого порядков.

Порядок водотока лишь ориентировочно говорит о его водности. Водотоки одного порядка даже в одном бассейне могут различаться в несколько раз в зависимости от конфигурации речной сети. При прочих равных условиях водность водотока определяется не его порядком, а площадью водосбора.

Доля общей длины долин водотоков разного порядка (от суммарной длины долин водотоков на данной территории) сравнительно мало изменяется для разных территорий. По подсчетам автора, для бассейнов верхнего течения Колымы и для Приамурья получено следующее соотношение длины долин разного порядка: первого 55%; второго 19; третьего — седьмого 25; более чем седьмого 1%.

Очень мало отличается и соотношение площадей бассейнов рек разных порядков для отдельных территорий. Однако глубина долин водотоков разных порядков нарастает с увеличением порядка, особенно сильно в условиях платообразного и равнинного рельефа. С увеличением порядка нарастает и ширина долин. Если сравнить суммарные площади сечения долин, то оказывается, что реки третьего — седьмого

порядка дают около 60% суммарной площади сечения долин данной территории. Следовательно, хотя их суммарная длина только 25%, именно эти реки совершили главную эрозионную работу.

Для анализа россыпей золота наибольший интерес представляют долины третьего — седьмого порядка, а из них — четвертого-пятого порядка. Россыпи пьезокварца, наоборот, почти полностью сосредоточены в долинах первого и второго порядка. Оловянные россыпи для территорий с высотами 600 м и более наиболее продуктивны в долинах третьего — пятого порядка. На территориях с высотами до 500 м основная масса олова приурочена к долинам первого-второго порядка.

ПЕРЕНОС РЕКАМИ НАНОСОВ

Флювиальные формы бывают не только эрозионные (отрицательные), но и аккумулятивные: конусы выноса, дельты, аллювиальные равнины. Аккумулятивными называются формы, в пределах которых систематически происходит отложение материала, накопление его. Поэтому поймы, многие речные террасы нельзя считать «аккумулятивными» формами, если мощность их аллювия нормальная.

Река (и любой водный поток) работает над размывом горных пород, переносит материал и отлагает его. Следует четко различать размыв и эрозию, отложение и аккумуляцию. Отложение материала — временная приостановка его движения, в то время как аккумуляция — систематическое отложение, приводящее к накоплению материала в данном месте. Размыв на перекатах в межень — явление, наблюдаемое повсеместно. В паводок он сменяется отложением. Врезания долины при этом может и не быть. Эрозия — всегда размыв, но размыв не всегда эрозия. Аккумуляция — всегда отложение, но не всегда отложение ведет к аккумуляции.

Перенос материала водный поток, как известно, осуществляет в растворе, во взвешенном и полувзвешенном состоянии и путем влечения по дну. Основная масса минералов, которые переносятся в растворе, принадлежит к легкорастворимым (кальцит, доломит, гипс, галит, некоторые органические вещества). Но немало транспортируется в растворе и таких веществ, как кремнекислота (SiO_2), окислы железа. Кремнекислота поступает в раствор не при растворении кварца, а в ходе выветривания — гидратации алюмосиликатов. Количество растворенного вещества оценивается «жесткостью» воды (раствора) в граммах на литр. Оно меняется в широких пределах. В паводки и половодья содержание растворенных веществ падает. В горных районах доля переноса в растворе снижена по сравнению с равнинными. Однако, по данным О. А. Алекина и Л. В. Бражниковой (1963), наибольшая химическая денудация имеет место в высоких горах. Так, для Тянь-Шаня она достигает 200 т/км²/год при 22 т/км²/год по СССР и 3—5 т/км²/год для тундровых районов, т. е. в общем в горах повышена не только механическая, но и химическая денудация.

В общей денудации континентов твердый сток в растворе составляет около 1/3—1/5 общего стока. Основную массу наносов реки несут во взвешенном и полувзвешенном состоянии. По гранулометрическому составу это алеврит и более тонкие частицы. Их гидравлическая крупность меньше средней величины вертикальной составляющей пульсационной скорости турбулентного потока. Если же гидравлическая крупность наноса превышает эту величину, но меньше максимальной вертикальной составляющей пульсационной скорости, материал передви-

гается вблизи дна путем сальтации — в полувзвешенном состоянии.

Гидравлическая крупность увеличивается с повышением удельного веса, но нарастание происходит сравнительно медленно. Если гидравлическая крупность частицы кварца диаметром 1 мм ($\gamma=2,65$) составляет 110 мм, то касситерита ($\gamma=7$) — 200 мм, а золота ($\gamma=15$) — 400 мм.

На перенос наносов оказывает влияние также и вязкость воды, которая медленно возрастает с понижением температуры. Ее не принято учитывать при анализе переноса материала, так как изменение вязкости сказывается и на уменьшении гидравлической крупности и на действующем в обратном направлении уменьшении скорости потока (вертикальной составляющей пульсационной скорости) из-за увеличения внутреннего трения движущейся воды.

Во время половодья и паводков мутность потоков резко возрастает. За несколько дней половодья реки переносят больше взвешенных и влекомых наносов, чем за несколько месяцев межени. Очень велика мутность в начале половодья. Особенно сильно возрастает мутность во время наиболее мощных паводков (половодий с повторимостью один раз в 25—50 лет).

Поскольку в потоке вертикальные составляющие пульсационной скорости постоянно и существенно меняются, меняется и мутность. Способность потока переносить частицы во взвешенном состоянии обычно во много раз превосходит то количество, которое он переносит. В результате мутность рек, текущих с близкими скоростями, отличается в десятки и даже сотни раз.

Галечник, гравий, а на равнинных реках и песок переносятся лишь путем перекачивания по дну. Если взвешенные и полувзвешенные наносы перемещаются со скоростью, близкой скорости движения воды, то влекомые наносы перемещаются во много раз медленнее. Наиболее крупный материал перемещается при редко наблюдаемых скоростях (во время особенно мощных паводков). При несколько меньших скоростях он выстилает русло. В общей массе наносов, переносимых реками, доля влекомых наносов по данным измерений составляет 3—10%. Лишь на реках высокогорья при максимальных расходах с повторимостью раз в 20—50 лет доля влекомых наносов существенно возрастает и превышает 20—40%.

Скорость течения, при которой крупный обломочный материал начинает двигаться, называется *срывающей*, или *критической*. По закону Эри $F=Av^6$, т. е. масса перемещаемого обломка пропорциональна скорости потока в шестой степени. Частицы минералов размером в несколько миллиметров, образующих россыпи, приходят в движение вместе с влекомыми галечными наносами. Они перемещаются замедленно. Крупные обломки, не перемещаемые скоростями меньше срывающих, остаются неподвижными. Они слагают дно русла вплоть до того момента, когда скорости достигнут критической величины близ дна русла. Эти крупные обломки защищают от размыва залегающий под ним и в промежутках более тонкий материал.

Большое количество наносов, в том числе и крупного материала, иногда глыбы размером до 1 м³ и больше, переносят сели — катастрофическое явление, наблюдаемое на горных реках. Сели проходят не ежегодно, а с перерывами в несколько, а то и десятки лет. За один сель река может вынести больше наносов, чем за все время между селями. При этом удаляется весь материал, включая глыбы весом в несколько тонн, и обнажается ложе потока вплоть до неразрушенных скальных пород.

При селях вода содержит часто настолько много обломочного материала, что возрастает удельный вес всей массы (вода + обломочный материал). Увеличивается при этом и составляющая силы тяжести, движущая смесь воды и обломочного материала вниз по дну долины. Сели могут проходить лишь в тех случаях, когда в сфере действия водного потока оказывается много обломочного материала, т. е. продуктов выветривания, деятельности ледников. По долинам, где проходят сели, даже при очень богатых и крупных коренных источниках, россыпи не образуются.

Скорости течения, в том числе и срывающие скорости, тесно связаны с особенностями рельефа территории, по которой протекает река. Чем больше уклоны рек (при одинаковом расходе), тем больше скорости течения. Уклоны рек всегда больше на территориях, испытывающих значительное поднятие, приобретших поэтому значительные абсолютные высоты. Вместе с тем меняются и характер отложений на дне долин и условия для формирования россыпей (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Тип рельефа и крупность аллювия

| Тип рельефа и реки | Преобладающие абс. высоты вершинных поверхностей между речей, м | Преобладающая глубина долин, м | Средний размер руслового аллювия (по оси А), см | Характер аллювия русел |
|--|---|--------------------------------|---|------------------------|
| Реки высокогорного рельефа | 3000 | 1200 | 30—15 | глыбы и галечники |
| Реки среднегорного рельефа | 3000 | 1200—500 | 20—10 | грубый галечник |
| Реки низкогорного рельефа | 3000 | 500—300 | 15—7 | галечник |
| Реки плато | 500—4000 | 1000—300 | 20—50 | галечник |
| Реки сопочного рельефа | 800—600 | 300—100 | 8—3 | галечник и гравий |
| Реки денудационных равнин и мелкосопочника | 300—600 | 150—70 | 5—2 | гравий |
| Реки аккумулятивно-денудационных равнин | 200—400 | 100—50 | 3—1 | гравий |
| Реки аккумулятивных равнин предгорий | 200 | 50—20 | 20—2 | гравий и песок |
| Реки аккумулятивных низменных равнин | 200 | 30—15 | 1,0—0,5 | песок |

Не везде относительные и абсолютные высоты полностью укладываются в указанные пределы. Но повсеместно преобладают приведенные высоты. Достаточно уверенно по типу рельефа и топографической карте можно судить о крупности аллювия, лежащего в руслах рек. При некотором опыте ошибка не будет превышать 20%, т. е. по топографической карте возможно судить о крупности руслового аллювия.

ВРЕЗАНИЕ И ЭРОЗИЯ; АККУМУЛЯЦИЯ И ОТЛОЖЕНИЕ

Со склонов на дно долин постоянно поступает различный по размерам материал от глины и алевролита до крупных глыб и валунов. Водный поток, особенно небольших размеров, даже при больших уклонах не в состоянии не только переносить крупные обломки, но даже сдвинуть их с места. В результате на дне долин может накопиться грубый материал, лежащий неподвижно длительное время. Он остается на дне, пока либо не будет раздроблен процессами выветривания, либо источен трущимся о него обломочным материалом, переносимым рекой. Грубый материал, находящийся в сфере деятельности потока и не

перемещаемый им, носит название перлювия. Последний иногда сплошь выстилает дно русел небольших водных потоков. Наличие перлювиального материала (валунистость аллювия) определяет неравномерность распределения зерен россыпных минералов в толще аллювия. Скопление крупных глыб кварца в Южном Зауралье местами образует перлювиальные россыпи.

Водный поток, соприкасаясь с коренными породами на дне русла, отламывает обломки от коренного ложа, растворяет его (если это растворимые породы), а главное отшлифовывает коренные породы влекомым по дну и перемещаемым сальтацией материалом. Если ложе сложено рыхлыми породами, водный поток может непосредственно захватывать частицы, слагающие дно. В таком случае глубинная эрозия может протекать очень быстро, особенно если механический состав коренных пород ложа более мелкий, чем руслового аллювия.

Основную массу материала (не менее 70%) поставляют в водный поток склоновые процессы. Процессы обваливания и осыпания доставляют материал с подмываемых обрывов на равнинах и с крутых горных склонов. Много материала дают потокам оползни и отседание склонов, особенно большое количество поставляют процессы медленного массового движения материала. С обнаженных склонов некоторое количество (в общем, ничтожно малое) попадает на дно долины как следствие делювиального смыва.

Чем глубже долина, тем все труднее потоку углублять ее дальше. Это легко представить себе, если учесть, что с увеличением глубины долины, допустим, в 3 раза, поперечное сечение ее возрастает в 9 раз, при увеличении глубины в 5 раз поперечное сечение долины возрастает в 25 раз. Это наблюдается, конечно, при сохранении крутизны склонов.

Если долины систематически углубляются (что отмечается для значительных территорий в неоген-четвертичное время), то прогрессивное нарастание поперечного сечения по сравнению с глубиной приводит к двум последствиям: во-первых, за неоген-четвертичное время склоны долин становятся в общем круче, и, во-вторых, высотные интервалы между террасами сокращаются.

Выветривание, склоновые процессы и размыв водным потоком образуют саморегулируемую систему, непрерывно стремящуюся приспособиться к воздействиям извне. Допустим, река выработала некоторый уклон своего продольного профиля, отвечающий ее способности удалять со дна долины весь поступающий в реку обломочный материал, и затем началось поднятие базиса эрозии (или опускание территории ее бассейна). В таком случае уклоны становятся меньше, снижаются скорости течения, и это неминуемо влечет накопление в русле грубых наносов (перемещаемых путем влечения по дну). Наиболее крупные фракции, перемещавшиеся сальтацией (полувзвешенные наносы), стали перемещаться влечением по дну, а часть взвешенных наносов благодаря уменьшению турбулентности превращается в полувзвешенные. Шаг за шагом в результате аккумуляции дно долины повышается. Сначала в главной долине, а затем и в долинах притоков. Естественно, для этого требуется геологически длительное время. Поскольку повышается и основание склонов, начинает уменьшаться и их крутизна. С уменьшением крутизны склона замедляется поступление наносов на дно долины. Количество наносов стремится приблизиться к той величине, которая соответствует транспортирующей способности водотока при уменьшившихся уклонах и скоростях. Обратная картина будет наблюдаться при поднятии территории (или понижении базиса эрозии). Произойдет увеличение уклонов дна долины и скоростей течения.

Аналогичным образом на развитии дна долины сказывается изменение климата, приводящее к изменению величины стока. Уменьшение или увеличение слоя стока меняет скорости течения в руслах и переносящую способность водотоков. При этом меняется и интенсивность денудации склонов, также ведущая к изменению баланса наносов на дне долины, к аккумуляции на дне долины или к врезанию. В. Н. Гончаров (1962) так излагает это положение: «Основа руслового режима рек определяется длительными процессами формирования естественных русел, в результате которых достигается относительно стабильное состояние». Это относительно стабильное состояние (состояние равновесия) может быть выражено соотношением $d - f = \Delta T$, где d — количество обломочного материала, поступающего в долины выше данного створа, сюда входит материал, поступающий со склонов и отрываемый от дна; f — количество материала, уносимого рекой через данный створ; ΔT — разность, определяющая тенденцию реки к врезанию или аккумуляции.

Следует сделать некоторые оговорки. Указанное соотношение может нарушаться тектоническими или климатическими причинами, влияние которых оказывается сложным. Так, опускание базиса эрозии не повлечет врезания, если уклон дна водоприемного бассейна меньше или равен уклону продольного профиля реки или если река успевает быстро наращивать дельту.

Врезание и аккумуляция регрессивно распространяются от базиса эрозии вдоль по речным системам. Однако локальные деформации продольного профиля сплошь и рядом приводят к трансгрессивному распространению эрозии или аккумуляции.

Установившееся относительно стабильное состояние руслового режима рек (равновесное состояние) обладает значительной «инерцией». Для того чтобы река начала эродировать ложе своей долины (не только русла) или аккумулялировать, необходимо значительное отклонение ΔT в соотношении поступающего и уносимого материала. Эта «инерция» связана наличием в основании аллювия базального слоя, слабо перемещаемого рекой грубого материала, (а с последним ассоциируются и россыпи, о чем речь пойдет ниже). С другой стороны, поступление в реку материала, переносимого рекой во взвешенном и полувзвешенном состоянии, не может сказаться на эрозии или аккумуляции.

Данные о скорости врезания и аккумуляции не так уж многочисленны. В рыхлые отложения поток врезается по крайней мере на порядок быстрее, чем в скальную горную породу. На Лене и Миссисипи 40—45-метровые террасы имеют среднеплейстоценовый возраст (200—300 тыс. лет). Если принять высоту поймы 10—12 м, мы получим, что эти громадные реки равнин углубили свои долины за указанное время на 30—35 м ($40 - 10 = 30$). Средняя скорость врезания получается порядка 0,11—0,17 мм/год. Москва-река у Можайска, Протва у Боровска со времени отступления московского ледника (за 200 000 лет) врезались на 30—35 м, т. е. средняя скорость врезания составляет 0,15—0,18 мм/год. Аллювий 20-метровой террасы Ангары имеет возраст 30 000 лет. Если вычесть высоту поймы (5 м), средняя скорость врезания составит 0,50 мм/год.

В низкорельефной бассейне верхнего течения Колымы 40-метровая терраса самой Колымы, ее крупных притоков Берелёха, Дебина имеет позднеплейстоценовый возраст (50—100 тыс. лет). Следовательно, реки врезались со средней скоростью 0,4—0,8 мм/год. Однако если взять большие отрезки времени, то со времени образования 200-метровой террасы средняя скорость врезания рек бассейна верхнего течения Колымы составит не более 0,05—0,10 мм/год.

Темпы накопления осадков, по данным А. А. Свиточа, даже для суглинков составляют 0,5—2,0 мм/год. Накопление данных об абсолютном возрасте осадков дает многое о темпе эрозии и аккумуляции. Они в общем близки указанным величинам. За короткие отрезки времени темпы получаются в несколько раз выше, чем за продолжительные, что указывает на прерывистость процессов. А. А. Свиточ приводит следующие данные о скорости накопления осадков, мм/год:

| | | |
|----------------------------|-----------|-----------|
| Морена | — | 300—350 |
| Озерно-ледниковые глины | ленточные | — 100—120 |
| Морские осадки Каспия | | — 2,0 |
| Дельтовые осадки | | — 2,5 |
| Аллювий русловой | | — 30—40 |
| Аллювий пойм и стариц | | — 1,5 |
| Осадки горных озер | | — 8—9 |
| Осадки озера Неро | | — 1,5 |
| Эоловые осадки | | — 0,15 |
| Лёссовидные суглинки | | — 1,5 |
| Поваренная соль | | — 70—80 |

Добавим к этому, что в озере Неро в послеосташковское время, т. е. за 18 000 лет, накопилось до 24 м осадков. Таким образом осадконакопление проходило в среднем со скоростью 1,3 мм/год. В Южной впадине Байкала толща алевритов мощностью 6 000 м отложилась за 30 млн. лет, или в среднем по 0,2 мм/год. В открытом океане темпы осадконакопления измеряются цифрами 1—2 мм в тысячу лет. Мы все время приводим осредненные данные. В действительности осадконакопление происходит с перерывами даже в глубоких впадинах океана. Тем более оно неравномерно в пределах континентов, где к тому же очень невелика общая мощность рыхлых отложений. Следовательно, длительность эпох осадконакопления в сотни и даже тысячи раз короче разделяющих их перерывов. Действительно, за миллион лет четвертичного периода должна была бы накопиться (по 30 мм/год) толща руслового аллювия мощностью в 30 000 м, а пойменного аллювия — 1 500 м. При анализе разрезов рыхлых отложений необходимо учитывать, что перед нами всегда (и без каких-либо исключений) лишь отдельные страницы геологической летописи. Хорошо, если нам удастся получить в разрезах хотя бы несколько процентов от общей длительности геологической летописи истории долин.

Глава 8

СТРОЕНИЕ РЕЧНЫХ ДОЛИН И РОССЫПИ

Морфологические элементы дна долин

Русло и пойма

Аллювий и его фаций

Продольный профиль долины

Террасы и террасоувалы

Древние эрозионные врезы

Распространение врезания и аккумуляции по долинной сети

Речная долина третьего порядка и выше имеет днище, образованное руслом, поймой и террасами, и склоны. Если эрозионный рельеф формируется длительное время, то переход от склонов долин к между-речным пространствам совершается постепенно.

Террасы в прошлом были поймой долины. Как только поток перестает формировать поверхность поймы, последняя превращается в надпойменную террасу и склоновые процессы начинают преобразования ее поверхности. В тыловой части откладываются склоновые образования, а бровка закругляется. Если террасы нешироки и склоновые процессы интенсивны, ряд террас сливается в единую наклонную поверхность — террасовал, в разрезе которого отчетливо видны субгоризонтальные поверхности цоколей, на которых под чехлом склоновых отложений еще длительное время сохраняется аллювий. С древних террас аллювий снесен склоновой денудацией, сохранилось лишь субгоризонтальное коренное ложе аллювия, в разной степени разрушенное. Кроме террас и поймы в большинстве речных долин обнаруживаются остатки древних врезов, нередко более глубоких по сравнению с современной поймой. Их аллювий залегает под поймой, террасами или террасовалами.

Погребенные врезы с древним аллювием распространены в речных долинах так же часто, как и надпойменные террасы. С позиции реконструкции истории формирования долин их анализ не менее важен, чем анализ террас. К сожалению, их фиксация требует значительного объема горных выработок или бурения, а также специального геоморфологического анализа. Для поисков и разведки россыпей древние эрозионные врезы — наиболее важный элемент речной долины, поскольку к сегодняшнему дню почти все россыпи пойм и террас уже найдены и отработаны.

РУСЛО И ПОЙМА

В настоящее время деятельность потока протекает в пределах русла и поймы, имеющих в каждой речной долине. Лишь в долинах высокогорья, в молодых эрозионных врезях и в «долинах прорыва» пойма отсутствует и все днище долины занято руслом.

Течение воды в реках, когда оно совершает хотя бы какую-то работу по перемещению наносов, носит турбулентный характер, и чем выше турбулентность, тем выше способность потока преобразовывать рельеф своего ложа. Показателем степени турбулентности служит число Рейнольдса Re . Оно равно $Re = \frac{Hv\rho}{\mu}$, где H — глубина, v — скорость течения, ρ — плотность воды и μ — коэффициент ее вязкости. Так как плотность и вязкость отличаются мало в разные периоды деятельности рек, решающее значение для различий в степени турбулентности имеют глубина и скорость. Скорость (в условиях турбулентного течения) определяется по формуле Шези $v = C\sqrt{Ri}$. Для широких русел рек, которые в общем решительно преобладают, гидравлический радиус практически равен глубине, т. е. $R = H$, и, следовательно $v = C\sqrt{Hi}$, где C — коэффициент, который приблизительно равен 15 для горных рек и 30 — для равнинных. Коэффициент C находится в обратной зависимости от шероховатости русла.

Составляющая сила тяжести, сообщающая ускорение частицам потока, пропорциональна синусу угла наклона. Ускорение, получающееся

В результате воздействия силы тяжести $a = g \sin \alpha$, придавало бы водной массе потока все нарастающую скорость, чего не наблюдается благодаря трению водной массы о шероховатую поверхность ложа потока и внутреннему трению его водной массы. Затраты энергии на трение о ложе и внутреннее трение включают в себя затраты энергии на перемещение обломков по дну и поддержание твердых частиц во взвешенном состоянии. Чем больше уклон, тем больше затраты энергии на преодоление трения, в том числе и на перемещение наносов.

Различают бурный и спокойный режим потока. Мера кинетичности потока выражается числом Фруда F_r . Оно равно $F_r = \frac{v}{gH}$, где v — скорость, м/с; g — ускорение силы тяжести; H — глубина, м. Если число Фруда больше 1, режим бурный, если меньше 1 — спокойный.

Турбулентное течение — вихревое течение с вертикальной, наклонной и горизонтальными осями вихрей. Зарождаются вихри у ложа потока. Кроме вихрей, ограниченных в поперечнике метрами и десятками метров, отмечаются вихревые шнуры с горизонтальной осью вращения, имеющие в диаметре несколько метров и длину в сотни метров и даже километров.

В результате деятельности потока — размыва и отложения — с удивительным постоянством на всех реках формируются одни и те же элементы дна долины — русло и пойма. Русло ограничено дном и склонами, несколько более крутыми в верхней части. Незатопленная в межень часть дна русла называется «коса» или «побочень». Пойма имеет ровную, субгоризонтальную поверхность с пологими валами и ложбинами. От русла эта поверхность отделяется бровкой, а от коренного берега на поперечном профиле — вогнутым перегибом, называемым шовной линией. Русло у рек невысоких равнин в 10—20 раз уже, чем пойма. У рек плато, низкогорий, территорий с сопочным рельефом обычно соотношение 1:10, 1:5. У горных рек это соотношение может быть 1:4, 1:3, 1:2, а в долинах прорыва и у рек высокогорных оно приближается к единице.

Русло имеет форму ложбины с несколько изменчивым продольным уклоном. На довольно значительном протяжении — иногда до сотни метров — дно русла может иметь и обратный уклон. Дно его, косы и побочни обычно сложены аллювием. Лишь на небольших отрезках на дне русла водный поток соприкасается с коренным ложем. В пределах русла выделяются плесы (плесовые ложбины) и перекаты. Эти главные элементы соединяются между собой переходными участками. В межень, когда расходы и рельефообразующая деятельность водного потока ничтожны, наибольшие скорости наблюдаются на перекатах, на плесах, обладающих в это время большим живым сечением, скорости намного меньше. В паводки и половодья картина обратная: наибольшие скорости на плесах. В это время, когда водный поток имеет большую массу, большую скорость, и вырабатываются все особенности рельефа русла. Особенно велик контраст в интенсивности русловой деятельности на реках равнин. Глубина на перекатах на крупных реках равнин достигает 2—3 м, а на плесах — 15—25 и даже 40 м. На горных реках таких контрастов нет, но глубина на плесах в 2—3 раза больше глубины на перекатах.

В ходе миграции русла по дну долины положение плесов и перекатов постоянно меняется. Это происходит медленно с точки зрения человеческой практики и молниеносно, если рассматривать смещение русла в геологических масштабах времени. В местах выходов горных

пород неодинаковой прочности, а также на участках локальных поднятий располагаются «стационарные» перекаты — пороги, шиверы и «быки», а в крайних случаях — и водопады. Обращает внимание различное отношение глубины к ширине H/B . Оно меньше для крупных рек. Сила тяжести как бы «расплющивает» водный поток.

Иногда русло дробится на рукава. Это присуще главным образом аккумулярующим рекам. Реки с выработанным продольным профилем и врезающиеся реки не фуркируют, если не считать рукавов, разделенных осередками, возникающих в ходе смещения русла.

Русло целиком располагается в пределах поймы, образуя излучины (меандры). Форма их разнообразна. Длина реки по руслу больше длины долины, если считать по ее оси. Отношение длины русла к длине долины называется коэффициентом извилистости. У рек равнин он равен 1,3—1,6, но может достигать 1,7—2,0, редко больше. У горных рек коэффициент извилистости обычно 1,1—1,3, не считая, конечно, врезанных излучин.

Пойма возвышается над меженным уровнем воды тем больше, чем выше паводки. Почти все реки имеют низкую и высокую пойму. В пределах поймы принято различать несколько повышенную прирусловую часть, ровную центральную и краевую, иногда пониженную, если там есть остатки старицы, или же приподнятую, если на нее ложится шлейф склоновых образований (рис. 8.1). Участки поймы, ограниченные руслом и коренным берегом, получили название сегментов поймы.

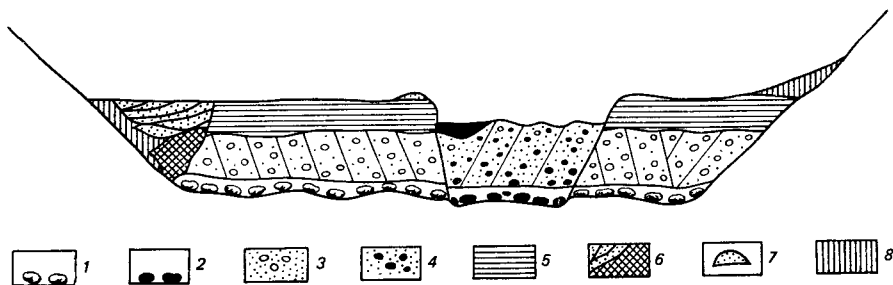


Рис. 8.1. Типичный разрез поймы:

1 — базальный аллювий высокой поймы; 2 — базальный аллювий низкой поймы; 3 — русловой аллювий высокой поймы; 4 — русловой аллювий низкой поймы; 5 — пойменный аллювий (пойменная фация высокой поймы); 6 — старичный аллювий; 7 — аллювий прируслового вала; 8 — склоновые образования

Низкая пойма всегда уже высокой. Она сопровождает русло непрерывной полосой, переходя с одного берега на другой. Поверхность низкой поймы неровная (валы, ложбины, брошенные русла — старицы), лишь небольшая часть занята ровными почти горизонтальными поверхностями. Ровные поверхности низкой поймы не имеют выдержанной высоты над уровнем. Материал, слагающий низкую пойму, относительно часто переоткадывается водным потоком и имеет более молодой возраст, чем аллювий высокой поймы.

Высокая пойма также располагается по обе стороны от русла (и полосы низкой поймы, «меандрирующей» в ее пределах). Высокая пойма, как правило, занимает большую часть современного дна долины. Она имеет в общем довольно ровную субгоризонтальную поверхность, усложненную пологими прирусловыми валами и старицами. Поверхность высокой поймы прорезана руслами больших и малых

притоков. На ее поверхность нередко ложатся конусы выноса балок и оврагов. Но в целом поверхность высокой поймы почти плоская, обладающая однообразным уклоном вниз по долине. Уклон ее поверхности всегда несколько больше (равно, как и уклон водной поверхности при затопленной пойме), чем уклон водной поверхности русла. Основной расход воды при половодьях и паводках проходит через русло, так как глубины на пойме невелики, а благодаря шероховатости ее поверхности скорости меньше, чем скорости в русле.

При особо больших расходах, повторяющихся раз в 20 или 50 лет, происходит резкое увеличение скоростей течения и количества переносимых наносов. В эти «катастрофические» половодья (или паводки) режим движения водной массы по дну долины существенно меняется. Происходит и «скачкообразное» перемещение плесов и перекатов, до этого медленно «сползавших» вниз по течению, и прорыв шеек меандр, и наибольшее смещение меандр вниз по долине.

При прочих равных условиях (прежде всего при однотипности рельефа бассейна) ширина поймы возрастает с увеличением водности реки, хотя и в меньшей степени, чем водность. Ширина поймы зависит от глубины долины и от крутизны продольного уклона. На ширину поймы влияет и прочность горных пород, слагающих склоны долины, — трудноразмываемые породы сдерживают боковую эрозию.

Формируется пойма в ходе смещения меандр по дну долины, а ширина ее зависит от радиуса закругления меандр и определяется соотношением ускорения, сообщаемого наличием уклона, и инерции водной массы. Последняя не исчезает при встрече с препятствием: коренным берегом или просто с бортом русла. Чем больше масса воды (при русле, заполненном до поверхности поймы и выше), тем больше значение инерции и тем шире река «раздвигает» склоны долины, ограничивающие пояс излучин. Следовательно, ширина поймы зависит от продольного уклона долины и водности реки. На каждом отрезке русла (при его заполнении, при руслоформирующих расходах) конкретная скорость течения воды в соответствии с законом Бернулли определяется соотношением инерции водной массы, стремящейся сохранить

скорость и направление движения, и направлением движения, и ускорением силы тяжести, т. е. уклоном водной поверхности. На равнинах русло в пределах меандр имеет участки, ориентированные или поперек долины, или даже несколько «навстречу» общему падению дна долины. На реках территорий с сопочным или низкорным рельефом, где уклоны дна долины больше, пояс излучин уже (при той же водности), так как ускоре-

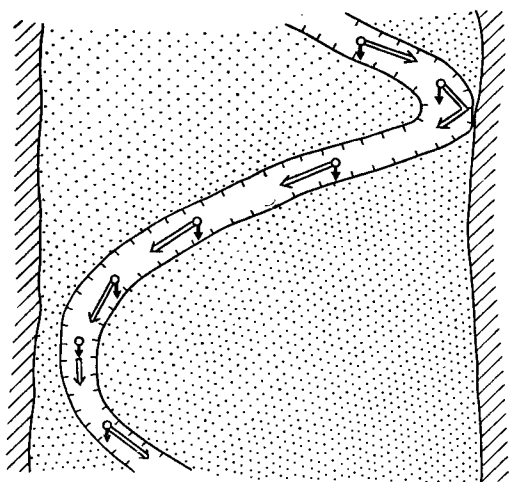


Рис. 8.2. Схема формирования излучины:

1 — коренной берег; 2 — пойма; 3 — русло; 4 — вектор составляющей силы тяжести (под влиянием уклона); 5 — вектор инерции

ние, сообщаемое водной массе составляющей силы тяжести, быстро преодолевает инерцию массы воды и вновь направляет поток вниз по долине (рис. 8.2).

Поверхность высокой поймы имеет равномерный наклон вниз по течению. Аналогично и коренное ложе аллювия поймы имеет наклонную в общем ровную поверхность. Граничную поверхность аллювия и плотика коренных пород можно наблюдать в шахтах, в эксплуатационных разрезах, на буровых поперечниках. В ложе аллювия на 0,5—2,0 м углублены широкие ложбины. Поверхность ложа аллювия вырабатывается в ходе перемещения меандр — их плесовых ложбин. В ходе формирования поймы дно плесовых ложбин с течением времени постепенно смещается по поверхности коренных пород, срезая их и формируя относительно ровную поверхность. Ложбины в ложе коренных пород (в плотике) вытянуты в общем вдоль по падению долины и тянутся параллельно друг другу. Лишь очень редко на них отмечаются котлообразные углубления в несколько метров глубиной. На реках с площадью бассейна меньше 10 000 км² самые крупные «котлы» имеют около 70 м в диаметре при глубине до 10 м. Это котлы высверливания, образованные водоворотами при особенно мощных паводках. Котлы занимают ничтожную долю общей поверхности плотика. К ложбинам плотика часто приурочены наиболее богатые струи россыпей.

АЛЛЮВИЙ И ЕГО ФАЦИИ

Высокая пойма сложена с поверхности аллювием пойменной фации, горизонтально- или слабонаклоннослоистым. Русловой аллювий горных рек галечный с заполнителем из различных фракций — от песка до глины. На равнинных реках русловой аллювий представлен гравием, песком. На границе пойменного и руслового аллювия слои последнего образуют линзы и пачки, слабо наклонные вверх по течению. Местами одна пачка срезается другой. Переход от руслового аллювия к пойменному довольно резкий. За 30—60 см по вертикали меняется и гранулометрический состав и характер слоистости. Галька в слоях руслового аллювия обнаруживает ориентировку. Уплотненная галька лежит чешуйчато — оси ее наклонены вверх по течению под углом от 10 до 25°. Вопрос об ориентировке длинных осей в горизонтальной плоскости решается не всегда одинаково. Одни исследователи считают, что преобладает продольная ориентировка осей, другие говорят о поперечной ориентировке. Н. В. Разумихин (1963) приводит следующие данные (табл. 8.1 и 8.2).

Таблица 8.1

Ориентировка длинных осей гальки на р. Алдан

| Участок русла | Поперечная | Диагональная | | Продольная |
|----------------------------------|------------|----------------|--------------|------------|
| | | остроугольная* | тупоугольная | |
| Прямолинейный | 49 | 11 | 24 | 16 |
| Вход в излучину | 33 | 20 | 24 | 23 |
| Средняя часть излучины | 25 | 15 | 23 | 37 |
| Конец излучины | 27 | 24 | 20 | 29 |

* Если ось образует острый угол с линией берега.

Таким образом, судить по ориентировке длинных осей гальки о на-

правлении течения не следует. Зато это вполне можно делать по направлению наклона уплощенной гальки, учитывая, разумеется, что и в прошлом направление оси русла не везде совпадало с направлением оси долины.

Таблица 8.2

Ориентировка длинных осей гальки на р. Урал

| Участки кос | Поперечная | Диагональная | Беспорядочная |
|-----------------------|------------|--------------|---------------|
| Головные | 74 | 14 | 12 |
| Центральные | 34 | 49 | 17 |
| Хвостовые | 24 | 33 | 43 |

Мощность толщи аллювия при выработанном профиле в пределах высокой поймы, т. е. при отсутствии врезания или аккумуляции, обычно довольно постоянная. Она равна высоте поймы над межennым уровнем плюс средняя максимальная глубина плесов. В пределах ложбин плотика мощность на

0,5—2,0 м больше нормальной. Под руслом, за исключением самых глубоких плесовых ложбин, между ложем потока и плотиком лежит слой аллювия, и это вовсе не свидетельство аккумуляции. Мощность аллювия возрастает с увеличением порядка реки примерно на 1 м.

$$M = 3 \text{ м} + n \cdot 1,0 \text{ м} + A,$$

где 3 м — мощность аллювия в устьевой части водотоков первого порядка; n — порядок водотока; A — поправочный коэффициент, зависящий от типа рельефа. Обычно коэффициент A не следует вводить. Отклонения на 1—2 м наблюдаются довольно постоянно. Они вызваны местными специфическими условиями. Резкие отклонения наблюдаются только для котлов высверливания. Следовательно, для потоков четвертого порядка нормальная мощность аллювия должна равняться 7 м, десятого порядка — 13 м. Эмпирически устанавливается, что это так и есть для многих районов. Аллювий нормальной мощности называется перестилаемым (перстративным).

В некоторых долинах мощность аллювия постоянно выше нормальной. По предложению В. В. Ломакина (1948), такой аллювий называется констративным ($M_k > M_n$). Это указывает на аккумуляцию аллювия в долине. Увеличение мощности аллювия выше нормы происходит в основном за счет накопления русловой фации аллювия. При формировании констративного аллювия условия для сепарации

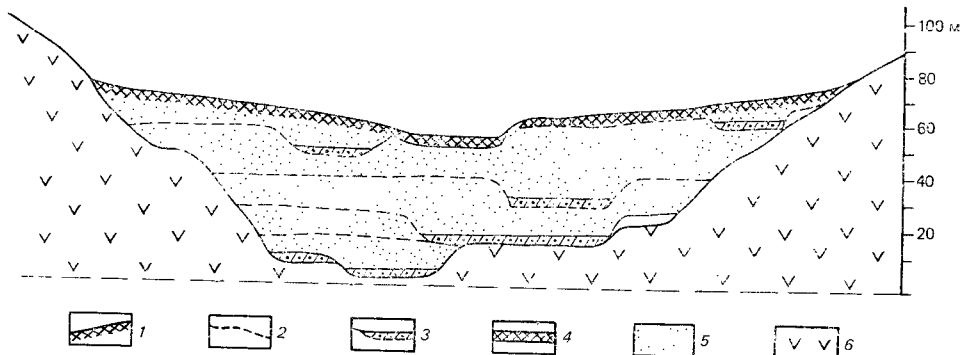


Рис. 8.3. Схема строения аккумулятивной толщи во впадине: 1 — современная поверхность дна впадины; 2 — поверхности дна впадины на этапах смены аккумуляции врезанием; 3 — россыпи, приуроченные к моментам кратковременного врезания рек в аккумулятивную толщу (в ходе этапа аккумуляции); 4 — современная аккумулятивная толща (знаково-лотноносная); 5 — аккумулятивная толща (знаково-лотноносная); 6 — коренные породы

минералов неблагоприятны. Однако иногда при богатых коренных источниках или промежуточных коллекторах встречаются линзы с повышенными концентрациями россыпных минералов, лежащие на ложных плотиках (рис. 8.3).

Накопление аллювия на днище долины происходит в результате нарушения баланса обломочного материала в долине реки, в ее пойме и русле, вызываемого либо тектоническими, либо климатическими причинами. В горных районах констративный аллювий вверх по течению нередко смыкается с флювиогляциальными отложениями.

Если произошло увеличение скоростей течения или уменьшилось поступление в поток обломочного материала, начинается врезание русла, и мощность аллювия становится меньше нормальной. В этих случаях в основании аллювия высокой поймы местами наблюдается цоколь, сложенный коренными породами. Могут сформироваться и «врезанные меандры». Мощность аллювия таких долин меньше нормальной. При этом условия для обогащения аллювия минералами тяжелой фракции несколько менее благоприятны, чем при формировании перстративного аллювия, хотя и происходит переотложение тяжелых россыпных минералов из пластов ранее сформированного перстративного аллювия. Однако в литературе довольно широко распространено мнение, что с инстративным аллювием главным образом и связаны россыпи. Действительно, при переотложении ранее сформированных россыпей, инстративный аллювий сохраняет высокое содержание полезного компонента. Но для образования россыпей за счет размыва коренных источников здесь условия хуже, чем при формировании перстративных толщ, поскольку сепарация — «стмывка» пустой породы — здесь осуществляется короткое время.

ПРОДОЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ ДОЛИНЫ

Различают продольный профиль невыработанный, выработанный и предельный. Выработанный профиль относительно стабильный и соответствует выровненной транспортирующей способности потока. При этом между поступлением обломочного материала со склонов и вышележащей части бассейна на дно долины в данном месте и его выносом наблюдается динамическое равновесие. Река не врезается и не аккумулярует. Очень часто выработанный продольный профиль называют «профилем равновесия». Н. И. Маккавеев (1971) считает этот термин не слишком удачным. По мнению авторов, термин «выработанный профиль» более удачный, так как он отражает и подчеркивает длительность взаимодействия формирующих долину агентов рельефообразования. Следует отметить, что выработанные профили могут иметь разные уклоны при одной и той же водности в зависимости от общей высоты площади бассейна и сопротивляемости горных пород суммарному воздействию агентов денудации.

По мере денудации территории (теоретически) выработанный продольный профиль должен все более выполаживаться, приближаясь к некоторой плавной кривой — асимптоте — для дальнейшего врезания. В таком случае должен сформироваться «предельный продольный профиль». Однако, поскольку тектонические движения не прекращаются на длительное время, а климатические условия непрерывно меняются, такой «предельный продольный профиль» лишь теоретическое построение.

При относительно однородном геологическом строении и отсутствии деформирующих тектонических движений выработанный продоль-

ный профиль принимает форму плавной кривой. В любой части ее отношение уклона i к обратной величине корня квадратного от расхода воды $1/\sqrt{F}$ постоянно, $\tau = \frac{i}{1/\sqrt{F}} = \text{const}$. На рис. 8.4 уклон, приведенный к расходу воды, τ показан в виде прямой горизонтальной линии. Ордината на рисунке отражает высоту территории бассейна реки над базисом эрозии. Необходимо считать уклон дна долины вдоль тальвега по поверхности высокой поймы, а не уклон по руслу,

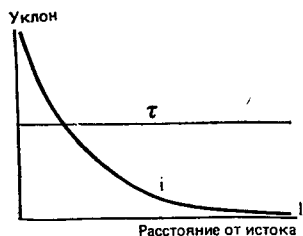


Рис. 8.4. Соотношение уклона дна долины i и приведенного уклона τ вдоль по долине при выработке продольного профиля долины. Примечание: $\tau = K i / \sqrt{F}$, где F — площадь бассейна, K — коэффициент пропорциональности

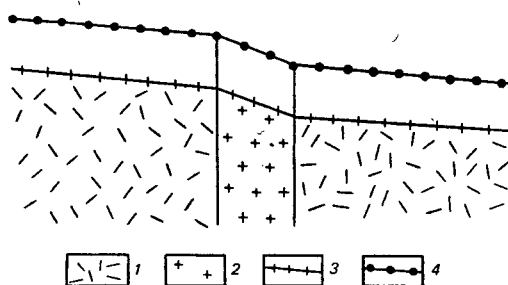


Рис. 8.5. Схема сохранения высоты террасы при пересечении рекой выходов трудноразмываемых пород при выработанных продольных профилях поймы и террасы:
1 — податливые породы; 2 — трудноразмываемые породы; 3 — продольный профиль по пойме; 4 — продольный профиль по поверхности надпойменной террасы

так как при наибольших расходах, определяющих морфологию долины, поверхность поймы закрыта водой. Скорость движения воды при затопленной пойме в русле в конечном счете определяется общим уклоном затопленного дна долины.

На выработанном продольном профиле могут быть ступени, обусловленные различной прочностью горных пород, слагающих дно долины и ее склоны. Морфологически они выражены как пороги или шиверы (быстрины). Наличие этих ступеней не означает, что продольный профиль не выработан. Он приспособлен к различной устойчивости горных пород, и река врезается одинаково быстро и в пределах порога, где дно сложено прочной горной породой, и на участках, сложенных более податливыми отложениями, поскольку скорости течения изменяются в той же пропорции. Устанавливается соотношение $\frac{P_1}{P_2} = \frac{v_1}{v_2}$, где P_1 и P_2 — сопротивление горных пород в пределах порога и вне его, а v_1 и v_2 — соответственно скорости (рис. 8.5).

ТЕРРАСЫ И ТЕРРАСОУВАЛЫ

При поднятии площади бассейна реки над базисом эрозии или при понижении уровня водоприемного бассейна уклоны рек возрастают, увеличиваются скорости течения и способности водных потоков перемещать наносы. В результате речные системы врезаются. По одной или по обе стороны от новой поймы сохраняются поверхности древней поймы с ее аллювиальной толщей. Эти почти горизонтальные поверхности, ограниченные снизу уступами, а сверху — склоном, спускающимся к пойме, и называются террасами.

Террасы могут быть построены по-разному. Кроме обычных террас с толщами нормальной мощности, лежащими на цоколе коренных пород, наблюдаются террасы, сложенные сплошь конкративным аллювием. Это случается, если врезанию предшествовал этап аккумуляции. Такие террасы называются аккумулятивными. В дальнейшем может оказаться, что река врезается уже в коренные породы и аккумулятивные террасы получают цоколь. В таком случае цокольные террасы в то же время являются и аккумулятивными.

В реках, стекающих с горных хребтов, по нормали к их оси может наблюдаться перекрещивание террас, называемое иногда «террасовыми ножицами». При этом по мере удаления от подножий гор (в пределах хребта) террасы увеличивают свою высоту, а на предгорной равнине древний аллювий оказывается погребенным, и чем дальше от подножия гор, тем глубже. Вдоль зон разломов, по которым происходит смещение блоков, составляющих горную систему, иногда наблюдаются резкие деформации террас.

На некоторых горных реках, текущих от осевой части поднятий к периферии горной системы, отмечены «хордовые» террасы. Наибольшее превышение древних хордовых террас над высокой поймой отмечается в среднем течении, несколько ближе к верховьям, но не близ выхода из гор и не в самых верховьях, где из-за малой водности водотоков врезание реки и углубление ее долины «не успевает» за поднятиями. Образование хордовых террас наблюдается в случае, если реки стекают со сводообразного поднятия, — максимальная высота их отмечается на участках наибольшей относительной деформации исходной поверхности, где в то же время располагается зона максимальной глубины расчленения горного рельефа данного хребта. При блоковом строении горного хребта нарастание высоты террас наблюдается выше по течению от блокоразделяющих разломов. Высота террас на горных реках зависит от соотношения темпа поднятий в разных частях горной системы и быстроты углубления днищ долин. Наиболее углубленные части долин располагаются от зоны наибольших поднятий обычно немного ниже по течению. Эрозия как бы запаздывает с распространением вдоль по долине. Если поднятие прекратилось, реки еще долго будут углублять свои долины.

Террасы можно проследить на сотни и тысячи километров. Например, 20—25-метровая терраса хорошо прослеживается на Ангаре на 1800 км от истоков до устья. Там, где река прорезала осадочные горные породы, она имеет близкое строение и на всем протяжении одинаковый возраст. И это наблюдается несмотря на наличие порогов и сужений долины. Через сужения долины Ангары в месте порогов террасы «проходят», не меняя высоты. То же наблюдается в условиях горного рельефа при прохождении долиной порогов и сужений.

Кроме цикловых террас, т. е. террас, запечатлевших определенный этап развития долины, прослеживающихся на протяжении десятков, сотен и тысяч километров, на реках быстроврезающихся наблюдаются «локальные» террасы, отмечаемые лишь на сравнительно коротких (километры — десятки километров) участках долины. Наблюдаются также и псевдо-террасы — ступени на склонах, обусловленные выходами прочных горных пород, или «подрезанные» конусы выноса. При прослеживании террас особенно важно фиксировать высоту сохранившихся участков ровной площадки террасы, а также высоту бровки цоколей или подошвы базального горизонта аллювия.

Возникновение террас может быть связано с деятельностью водного потока самого по себе. Если допустить, что некоторая террито-

рия поднялась, а затем поднятие прекратилось и в относительно стабильном тектоническом состоянии территория находится длительное время, все равно будет продолжаться вынос материала. При этом реки, откладывая на высокой пойме тонкий материал (обычно со скоростью 0,3—2,0 мм/год), шаг за шагом наращивают высоту ее сегментов. Из-за повышения высоты поймы все большая часть максимальных расходов, естественно, сосредоточивается в пределах низкой поймы и русла, а это с течением времени приводит к расширению низкой поймы и углублению коренного ложа долины в пределах низкой поймы и русла. Все большая часть максимальных расходов сосредоточивается в пределах низкой поймы, пока, наконец, высокая пойма перестанет заливаться и превратится в надпойменную террасу. Этот процесс можно констатировать повсеместно. Поймы разных рек находятся на разных стадиях своего развития. На одних реках высокие поймы заливаются ежегодно толстым слоем воды, на других они затапливаются раз в 20—50 лет, т. е. близки к превращению в надпойменную террасу.

Спонтанное углубление речных долин с образованием надпойменных террас незаметно, так как затушевано тем, что на него накладываются мощные тектонические и климатические воздействия. Однако не учитывать его невозможно, поскольку этот процесс образует как бы фон для воздействия тектонических и климатических агентов.

Выйдя из-под воздействия речного потока, речная терраса испытывает воздействие других агентов денудации, из которых генеральное воздействие оказывают склоновые процессы. Под чехлом склоновых отложений сохраняется аллювий, и по субгоризонтальным поверхностям цоколей можно восстановить высоту террас, а по аллювию — их возраст. Со временем может быть денудирован весь аллювий, а площадки цоколей по большей части срезаны и сохранились лишь на отдельных участках, обычно близ устьев притоков. Особенно широко распространены террасоувалы в восточной половине СССР — за Енисеем, где долины отличаются большей глубиной. Наклонные поверхности террасоувалов иногда считают «долинными педиментами» или просто педиментами. Но если посмотреть многочисленные разрезы, то можно увидеть, что ни в одном случае уступ над швом террас ни на миллиметр не отступил, как это должно было бы быть при формировании педиментов. Наоборот, у швов террас идет накопление материала.

ДРЕВНИЕ ЭРОЗИОННЫЕ ВРЕЗЫ

Если взять буровые поперечники через долины главных рек Русской равнины (Волгу, Дон, Днепр, Северную Двину, Печору) или их крупных притоков, мы увидим, что рядом с современной долиной пролегает древняя долина, заполненная осадками. Такие древние долины известны также для Урала, Оби, Енисея, Иртыша, Лены, Киренги, Алдана, Селенги, Шилки, Витима, Амура, Зеи, а также для многих рек Центрального Казахстана и Средней Азии. Древние врезы фиксируются практически везде в пределах СССР, за немногими исключениями. Имеются сведения об аналогичных древних долинах Роны, Луары в Европе, Нила в Африке, Миссисипи в Северной Америке, Муррея в Австралии. Следовательно, флювиальные формы рельефа — речные долины — имеют гораздо более сложную историю, чем та, которую мы можем восстановить, изучая только надпойменные террасы.

Наличие остатков древнего аллювия, приуроченного к древним врезам в современных долинах, констатировано для многих золотоносных районов нашей страны, причем нередко с аллювием древних врезов связаны богатые россыпи. Остатки древних выполнений более глубокого или иногда и менее глубокого древнего эрозионного вреза характерны и для вершинных разветвлений долинной сети.

В узких горных долинах аккумулятивные толщи сохраняются плохо и фиксируются лишь на отдельных участках. Во внутригорных впадинах они сохраняются гораздо лучше. Остатки аллювия древних врезов не сохраняются в долинах прорыва. Только в редких случаях их можно здесь наблюдать. Так, при прорыве Амура через горные хребты, разделяющие Амуру-Зейскую и Нижнеамурскую межгорные депрессии, остатки аккумулятивных толщ отмечаются в долинах притоков; древний аллювий сохранился под поймой и руслом, местами под террасами Амура. Следы вреза, более глубокого, чем современный, отмечаются под поймой и руслом в Больших порогах на Колыме.

Сказанное требует от геоморфолога при анализе истории долинной сети изучать: 1) результаты современной деятельности — пойму и русло (морфологию, морфометрию, строение и возраст); 2) древние террасы; 3) древние врезы. Первое и второе относительно просто, поэтому основное внимание надлежит уделить третьему.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВРЕЗАНИЯ И АККУМУЛЯЦИИ ПО ДОЛИННОЙ СЕТИ

Распространение свежего вреза при понижении базиса эрозии происходит снизу вверх по речным системам путем регрессивной, или попятной, эрозии. Однако это совершается не путем перемещения крутого уступа, как при отступании водопада или вершины оврага. В нижнем течении на всем протяжении захваченного свежей эрозией участка увеличиваются уклоны, чем дальше от устья, тем все в меньшей и меньшей степени. Чем меньше размер водотока, чем прочнее размываемые породы и чем глубже долина, тем медленнее распространяется эрозия. Проходит длительное время, пока река вновь создает выработанный профиль.

При продолжающемся понижении базиса эрозии (и поднятии территории) свежие волны эрозионного вреза, следующие одна за другой, не позволяют сформироваться выработанному профилю. На многих реках, стекающих с горных хребтов блокового строения, от верховьев вниз по долине наблюдается постепенное увеличение скорости течения, возрастает глубина долины, сужается ее днище, а склоны ее вниз по течению становятся круче. На реках, стекающих с горных хребтов типа антиклиналей или горст-антиклиналей наибольшее увеличение крутизны продольного профиля или глубины вреза наблюдается в том месте, где отмечается наибольшая тектоническая деформация исходной поверхности, существовавшей на месте хребта до поднятия. Отсюда (от зоны наибольшей деформации) свежий эрозионный врез распространяется вверх и вниз по течению — регрессивно и трансгрессивно. Если аккумуляцию вызывают климатические причины, то она захватывает первоначально средние и верхние элементы долинной сети.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛОТА В АЛЛЮВИИ ПО ВЕРТИКАЛИ И В ПОПЕРЕЧНОМ РАЗРЕЗЕ

Разновидности аллювиальных россыпей
 Форма и размер частиц россыпного золота
 Содержание и запасы
 Перенос частиц золота
 Виды переноса золота
 Распределение золота в аллювии по вертикали
 Распределение золота по поперечному профилю долины

РАЗНОВИДНОСТИ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ

Мы исходим из геоморфологического принципа деления россыпей и несколько детализируем классификацию россыпей, предложенную Ю. А. Билибиным (табл. 9.1). Наиболее распространены и разнообразны россыпи речных долин. Поскольку лучше изучены и наибольшее значение имеют россыпи золота, мы должны начать именно с них. Все сказанное относительно россыпей золота может быть применимо и к россыпям платины. Ниже, рассматривая россыпи олова (каситерита), пьезокварца, алмаза и других минералов, мы будем останавливаться лишь на их специфических особенностях.

Таблица 9.1

Разновидности аллювиальных россыпей

| Россыпи | Россыпи вершинных разветвлений долинной сети | Россыпи речных долин с хорошо выраженными морфологическими элементами | Россыпи окон долинной сети |
|---|--|---|--|
| I. В поле современной деятельности водных потоков | 1 — русловые | 1 — русловые 2 — косовые 3 — пойменные («долинные») | 1 — русловые 2 — пойменные |
| II. Древних уровней современных долин | 1 — террасовые 2 — погребенных врезов | 1 — террасовые и террасоувальные 2 — древних врезов | 1 — террасовые 2 — погребенных дельт и конусов выноса |
| III. Россыпи, оторванные от современных долин | не разделяются | 1 — древних поверхностей выравнивания 2 — седловин 3 — внутриворонных и предгорных впадин | древних дельт и конусов выноса |
| IV. Древние диагенезированные | не разделяются | | |

Понимание строения ныне формирующихся россыпей составляет основу анализа всех аллювиальных россыпей. Дело в том, что все аллювиальные россыпи (террасовые, погребенных врезов, поднятой речной сети, погребенные под отложениями межгорных и предгорных впадин) были в прошлом пойменными россыпями.

Форма частиц золота разнообразна, однако преобладают частицы **немногих форм**. Н. В. Петровская предлагает различать следующие формы золотин: 1) пластинчатые, 2) пленочные, 3) комковидные, 4) амебообразные, 5) каплевидные, 6) губчатые, 7) губчато-друзовидные, 8) друзовые, 9) кубические кристаллы, 10) дендритовидные, 11) проволочные.

В россыпях преобладают пластинчатые, комковидные и амебообразные золотины. Часто наблюдаются пластинки с утолщенными краями. На золотилах всех разновидностей имеются вмятины — наклепы. Многие золотины несут следы оглаживания граней, ребер и выступов. Проволочки и нити золота не всегда первичная форма, а результат развальцовывания золотин между гальками при переносе.

Первичная форма золотин возникает в результате заполнения пустот при высадке золота из растворов и эманаций. Так, пластинчатая форма — результат заполнения трещин, губчатая — результат естественного протравливания золото-сульфидных агрегатов. С. В. Яблоковой (1972) установлено, что многие золотины в срезе обнаруживают концентрическое строение — результат роста золотин путем наложения. На других золотилах видна «рубашка» — темная железисто-марганцевая пленка — последствие выщелачивания.

Форма золотин влияет на их перемещаемость в водном потоке. Срывающие скорости для золотин одного веса меняются в зависимости от их формы. Некоторые исследователи (К. В. Кистеров, В. Л. Суходровский, 1973) считают, что тонкие пластинки по миграционной способности близки алмазу. Однако такие крайние взгляды не находят подтверждения. Пластинчатое золото часто преобладает не только в нижних горизонтах аллювия, но даже на спеле и в плотике. Значительно повышенной перемещаемостью обладают лишь весьма тонкие пластинки. В настоящее время принято следующее деление золотин по размерам: больше 1 г — самородки; 1—0,5 г — мелкие самородки; крупнее 2 мм — крупное золото; 2—1 мм — среднее золото; 1—0,25 мм — мелкое; 0,25—0,1 мм — весьма мелкое; 0,1—0,05 мм — тонкое; менее 0,05 мм — пылевидное золото.

СОДЕРЖАНИЕ И ЗАПАСЫ

Для дальнейшего анализа строения россыпей необходимо определение ряда понятий. Количество золота в граммах на кубический метр аллювия называется содержанием. Содержание может относиться к большим объемам (в тысячах кубических метров) и к минимальным (в несколько сотен кубических сантиметров).

Часто считают содержание «на пласт» и содержание «на массу». В первом случае это среднее содержание на толщу «песков», подлежащих разработке при отдельной добыче, а во втором — это содержание на толщу породы, когда вместе с «песками» разрабатываются также и «торфа». Есть понятия «весовые содержания» и «знаки». При весовых содержаниях его величина измеряется десятками миллиграммов на кубический метр, но не достигает промышленных концентраций. При «знаковом содержании» зерна золота — знаки — хотя и отмечаются, но их мало, и содержание трудно оценить в миллиграммах на кубометр.

Большое значение имеют понятия «вертикальный» и «линейный запас». Вертикальный запас — это количество золота или другого ми-

нерала в вертикальном столбе породы сечением в 1 м^2 , считая от поверхности до границы с коренной породой плотика, в которой золото уже не содержится. Кроме золота в аллювии, учитывается золото, вымытое в плотик. Вертикальный запас подсчитывается по данным опробования шурфов или скважин, по точкам взятия проб (в скважинах), а в шурфах (при сплошном или частичном опробовании) — через 20 см по вертикали.

«Линейный запас» — количество золота в призме породы, площадь основания которой равна поперечному сечению аллювиального тела. Высота же призмы равна 1 м (вдоль по оси долины). Линейный запас равен сумме вертикальных запасов, полученных по шурфам или скважинам, расположенным на данном поперечнике, помноженной на ширину долины в метрах. (Обычно шурфы при разведке располагаются через 20 или 10 м, а при поисках реже.) При разведке считается только линейный запас в пределах контура промышленной части россыпи. Наиболее точно линейный запас может быть получен при траншейной разведке, когда поперек долины закладывается траншея, из которой в промывку идет весь материал. Материал опробуется по частям, чтобы ограничить, «забортировать» россыпь в пределах части долины, пересеченной траншеей.

Полученные по буровым, шурфовым линиям линейные запасы позволяют оконтурить россыпь с боков (бортов), сверху и снизу по долине, получить общий промышленный контур россыпи и определить запас полезного компонента. Одна буровая линия отстоит от другой обычно на 200 м, при сложном строении россыпи — и чаще; при поисковых работах — реже, через 400—800 м. У геологических организаций запасы принимаются к промышленной разработке в соответствии с определенными требованиями — кондициями, среди которых на первом месте стоят содержания и общий запас горной массы, т. е. аллювия, содержащего полезный компонент.

ПЕРЕНОС ЧАСТИЦ ЗОЛОТА

Маленькие, но исключительно тяжелые (15,6—18,3) частицы золота перемещаются водными потоками несравнимо медленнее, чем частицы аллювия с удельным весом 2,65—2,90, среди которых они находятся. Золотой самородок весом в 10 г почти неподвижен в водном потоке, а галька того же веса переносится в том же потоке с большой легкостью. Золотина весом в 1 г в реках среднегорья смещается на десятки метров за многие тысячи лет, т. е. она почти неподвижна, в то время как галька гранита весом в 1 кг, т. е. в 1000 раз большего веса, перемещается в реках среднегорья на километры в течение одного паводка. Именно медленное смещение частиц золота, и россыпных минералов вообще, служит главной причиной их накопления, т. е. образования россыпей.

Гидравлическая крупность шаровидной частицы кварца — 110 мм/с, касситерита — 230, золота — 400 мм/с. Разница, как можно видеть, относительно небольшая, и, следовательно, не только она служит непосредственной причиной медленного сноса потоком тяжелых частиц. При учете влияния большого удельного веса россыпных минералов требуется еще учитывать соотношение веса частиц одинакового объема в воздухе и воде (табл. 9.2).

Таким образом, в воде золото и другие россыпные минералы относительно «тяжелее», чем кварц. Если в воздухе золото тяжелее кварца в 6,7 раза, то в воде — в 10,2, т. е. разница в весе становится бо-

Соотношение веса частиц кварца (и полевых шпатов) и россыпных минералов
в воде и в воздухе

| Минерал | Вес в воздухе, г/см ³ | Вес в воде, г/см ³ | Относительная разница | |
|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------|
| | | | в воздухе | в воде |
| Кварц | 2,65 | 1,65 | — | — |
| Алмаз | 3,50 | 2,50 | 1,32 | 1,52 |
| Касситерит | 7,00 | 6,00 | 2,2 | 3,7 |
| Золото (пробность 850) | 18,00 | 17,00 | 6,7 | 10,2 |

лее ощутимой. Но даже и этой повышенной разницы недостаточно, чтобы только ею объяснить слабую перемещаемость золотин.

Попробуем представить себе «поведение» частиц золота от момента поступления их в сферу деятельности потока до того момента, когда частицы золота станут составной частью золотоносного аллювия. Основная масса обломочного материала поступает в поток со склонов, когда река подмывает коренной склон долины или размывает смещенные с него на пойму склоновые образования. Мелкие частицы склоновых образований подхватываются потоком, крупные частицы опускаются на дно. Вместе с ними опускается на дно большая часть обломков минералов тяжелой фракции и среди них прежде всего свободные золотины. Мелкие пластинчатые и губчатые частички свободного золота благодаря своей малой гидравлической крупности сносятся в бурном потоке вниз по течению на десятки метров, прежде чем достигнут дна. Крупные частички золота (более 1—3 мм) быстрее достигают дна потока.

Вблизи дна распределение скоростей течения своеобразно: на микровыступах рельефа ложа в пределах даже придонного слоя скорости достаточно значительны, чтобы сместить с этих выступов частицы. Правда, придонные скорости достигают необходимой величины лишь в короткие моменты, когда с дном соприкасаются наиболее мощные турбулентные вихри (пульсирующие скорости), но этого достаточно, чтобы сместить частицы в углубления ложа потока, где придонные скорости резко падают. В углублениях ложа перестают перемещаться и частицы легких минералов, в результате чего в галечном аллювии формируется песчано-глинистый заполнитель. Особенно много глинистых частиц в заполнителе, возникающем при катастрофических паводках, когда мутность воды потока достигает максимума.

Частицы золота приобретают вновь подвижность лишь в случае срезания потоком ранее существовавшей картины неровностей. Это происходит тогда, когда приходят в движение валуны и галька базального горизонта или начинает размываться плотик. Плотик отчасти разрушается за счет ударов по нему перемещаемых водой валунов и гальки, но, пока они прикрывают его, плотик остается целым.

Естественно, что тяжелые гальки и глыбы базального аллювия редко приходят в движение и перемещаются при этом на минимальное расстояние. При их перемещении тяжелые золотины даже размером 3—5 мм приходят в движение. Но они быстро «находят новое укрытие» в трещинах и неровностях плотика, а главным образом между крупными медленно смещаемыми глыбами. Особенно много частиц золота остается лежать на «спае» (поверхности, отделяющей аллювий от плотика), в кавернах и «щелчке» плотика.

При меньших (более частых) паводках и половодьях размыв не

достигает плотика, и золотины остаются лежать в базальном слое аллювия. Поскольку поверхность ложа потока располагается на разных глубинах (на разном расстоянии от плотика), формируется то распределение золота в толще аллювия, которое мы постоянно наблюдаем (рис. 9.1).

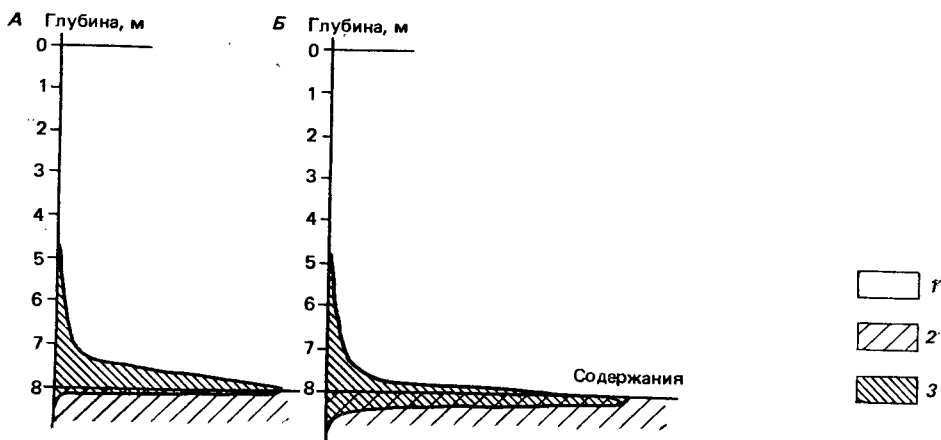


Рис. 9.1. Схема распределения золота по вертикали в толще аллювия (обобщенная кривая):
1 — аллювий; 2 — подстилающие породы плотика; 3 — содержания золота

На поверхности ложа потока распределение скоростей, перемещаемых или сдвигающих золотины, достаточно сложно, как и плановые границы участков размыва и отложения. Об этом говорят и экспериментальные данные. На рис. 9.2, А показаны поля касательных напряжений на дне потока с поперечными рифелями. На чертеже можно видеть, что в придонном слое направление касательных напряжений неодинаково и только в 70% случаев ориентировано вниз по течению. На больших площадях векторы скоростей ориентированы и вверх по течению. Не менее сложно распределение на дне зон отрыва и выноса (рис. 9.2, Б).

Известную роль может сыграть и вибрация крупных обломков базального слоя и плотика, возникающая при больших скоростях течения. В результате вибрации частицы, и прежде всего тяжелые, «заползают» в плотик по трещинам толщиной в доли миллиметра. В углубления могут забиваться частицы легких и тяжелых минералов, но легкие частицы при пульсации скоростей (завихрения, а также «вакуум» за выступами) временами вытягиваются из углублений «трафалета», а для зерен тяжелых минералов это исключено.

ВИДЫ ПЕРЕНОСА ЗОЛОТА

В россыпях золото концентрируется в свободном состоянии и лишь в небольшой мере в виде сростков с кварцем и очень редко с другими минералами. Однако перемещение золота в водном потоке и от коренного источника по склонам осуществляется и в других видах: «в куске породы» и «в прикрепленном состоянии».

Некоторые исследователи считают, что перенос в куске породы играет существенную, чуть ли не основную роль. Кусок кварца, включающий золотины, движется в массе влекомых наносов, пока не раска-

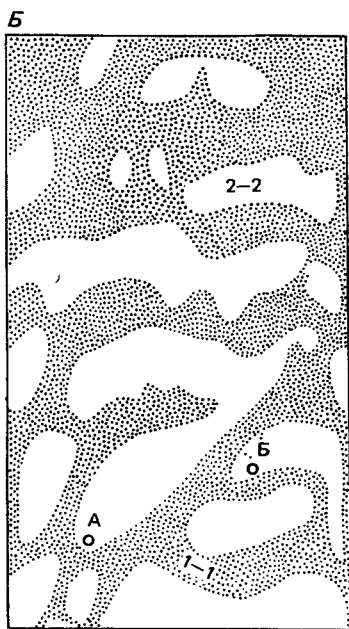
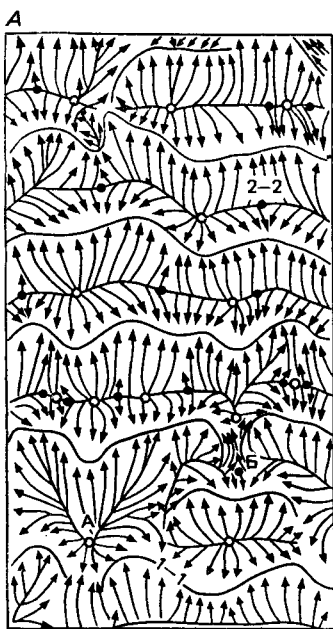


Рис. 9.2. Поле касательных напряжений (А) и соответствующие деформации дна (Б) (по экспериментам Аллена):
 1—1 — зоны сходящихся векторов (отрыв); 2—2 — зоны расходящихся векторов (вынос); А — узел (источник), соответствующий наинизшей точке подвалья; Б — седловина гребня (сток)

лывается, и золотины высвобождаются. Что этот процесс имеет место, сомнений нет. Уже сам факт нахождения золотины в сростках с кварцем говорит о возможности переноса подобным образом. Вопрос состоит в том, насколько большую роль играет процесс переноса в куске породы в формировании россыпей.

Во-первых, обломки жильного кварца, породы весьма прочной, могут быть унесены на десятки и даже сотни километров. Их разрушение может произойти на всем этом пути, что дает начало знаковой золотонности. Трудно представить, как в этом случае могут создаваться повышенные концентрации, даже при многократном переотложении аллювиальной толщи. Во-вторых, в склоновых отложениях вблизи коренных рудопоявлений, связанных с кварцевыми жилами, золото наблюдается преимущественно в свободном состоянии. Оно продолжает высвобождаться и в ходе смещения по склону, т. е. обломки жильного кварца еще продолжают выветриваться, обламываться, раскалываться. По изложенным соображениям нет оснований говорить о концентрации золота в россыпях в результате переноса его в обломках породы. В небольшой мере это препятствует образованию россыпей.

Перенос в «прикрепленном состоянии» происходит в случае, когда тонкие глинистые или железистые и кальцитовые пленки прикрепляют золотины к гальке или неокатанным обломкам. При промывке золота необходимо прежде всего освободиться от глинистой составляющей породы. Существует понятие «промывистость породы», т. е. промывистость аллювия, определяемая количеством в нем глины. Промывистость всегда учитывается при добыче золота из россыпи.

Иногда из-за крайне высокой глинистости аллювия на отдельных участках приисков при промывке отвалов (т. е. повторной промывке) после того, как они побывали несколько лет в сфере гипергенеза, слу-

чается извлечь значительное количество золота, иногда даже больше, чем при первой промывке. В отвалы золото поступает в основном за счет сноса в прикрепленном состоянии вместе с грубыми частицами. В массе воды и влекомых наносов в ходе их движения прикрепленные золотины отрываются от крупных обломков. Однако это может произойти на разном расстоянии (и десятков, и сотен метров) от начального положения. Таким образом, россыпь растягивается вдоль по долине и разубоживается.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛОТА В АЛЛЮВИИ ПО ВЕРТИКАЛИ

Если взять золотоносную долину, в пойме которой лежит аллювий нормальной мощности, и посмотреть, как распределяется содержание сверху вниз (обычно имеются данные по 20-сантиметровым интервалам), то получается вполне определенная картина. В аллювии пойменной фации содержания ничтожны. Они возрастают сверху вниз в толще руслового аллювия. Особенно резко увеличиваются содержания в наиболее грубой по составу базальной фации аллювия. Еще больше возрастают содержания в базальном аллювии и особенно на спае (границе аллювия и плотика). От спая вниз содержания резко падают. При сильной трещиноватости плотика большая часть золота может оказаться не в аллювии, а в плотике. Глубина проникновения золота в плотик с образованием в нем промышленного пласта по большей части измеряется несколькими десятками сантиметров.

На рис. 9.3 видно, что линия весовых содержаний золота по вертикали имеет «зубчатый» характер. Такая неравномерность наблюдается всегда. Обычно пробы берутся осредненно, через 20 см. Если объединить их попарно или опробовать через 40, а не через 20 см, пестрота содержаний сглаживается. Если брать пробы через 5 см, картина становится более пестрой.

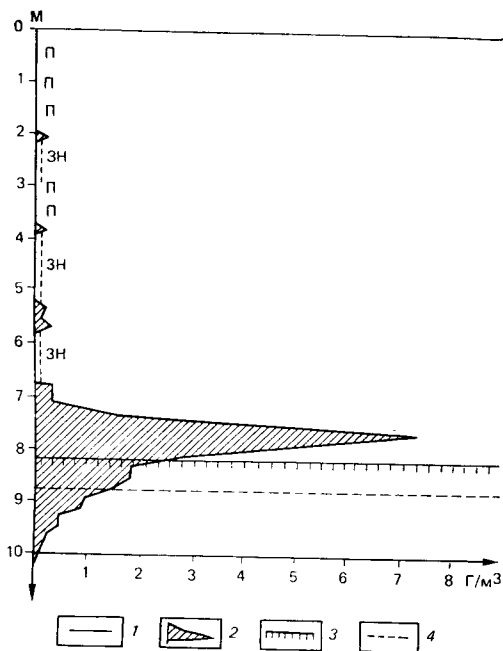


Рис. 9.3. Распределение золота по 20-сантиметровым проходкам в одном из разведочных шурфов по поперечнику через промышленную россыпь:

П — отсутствие золота (пусто);
 зн — значковые содержания; 1 — поверхность аллювиальной толщи; 2 — весовые содержания; 3 — плотик, сильно выветрелые сланцы; 4 — поверхность плотных сильно трещиноватых сланцев

Иногда предполагают гравитационную просадку золота в уже отложившемся аллювии. При этом считают, что благодаря большому удельному весу частицы золота раздвигают зерна других минералов и постепенно опускаются вниз. Частицы золота в таком случае должны сдвигать и крупную гальку или же спускаться, обходя крупные галь-

ки. Это возможно допустить для приповерхностных горизонтов, изменяющих свой объем при колебании температуры и влажности, но не слоев, лежащих глубже 1—2 м. Если сравнить древние террасовые отложения с отложениями поймы, возраст которых в несколько раз меньше, а потому и времени для просадки много меньше, мы не увидим разницы. В отложениях террас и поймы те же по величине «пики» и «спады» в содержании. Следовательно, предположение о «гравитационной просадке» частиц золота в уже отложенном аллювии имеет основание только для близповерхностных горизонтов аллювия.

Наблюдаемое распределение содержаний по вертикали объясняется следующим образом. Появление отдельных знаков в пойменной фации связано со свежим размывом склоновых отложений или с отделением «прикрепленных» пластинок золота от более крупных частиц. Пики содержания в руслонном аллювии на некоторой высоте над плотиком возникают сложным путем. Не при каждом паводке (или половодья) водный поток соприкасается с коренным ложем. Постоянно на плесовых ложбинах (а тем более на перекатах) между коренным ложем аллювия и дном потока лежит некоторый слой галечника. Мощность его в долинах третьего — седьмого порядков измеряется десятками сантиметров, иногда 1—2 м. На дне потока между галечным материалом задерживаются золотишки, формируется золотиносный горизонт. В дальнейшем он может быть захоронен, а при катастрофических паводках размывает. Золото может быть «опущено» в базальный слой или, если придет в движение базальный слой, на плотик (на спай), или вымыто в плотик (рис. 9.4).

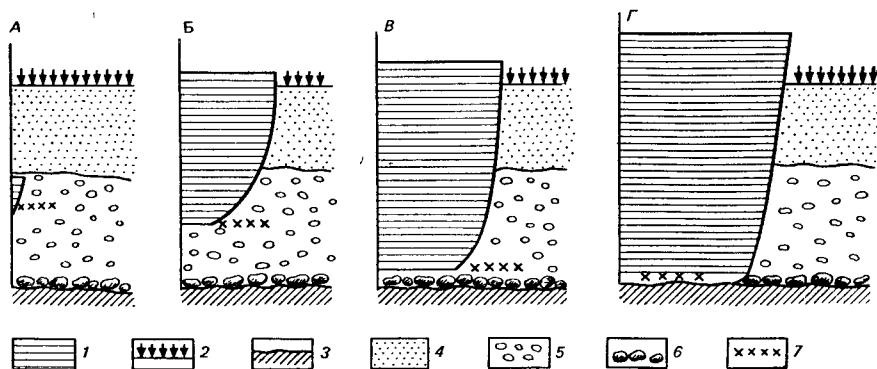


Рис. 9.4. Эпюры скоростей при межennom уровне и в половодье разной мощности и повторяемости; их соотношение со строением поймы:

А — межень; Б — среднее половодье (повторяемость через 3—5 лет); В — высокое половодье (повторяемость через 5—10 лет); Г — катастрофическое половодье (повторяемость через 25—50 лет); 1 — эпюры скоростей; 2 — поверхность поймы; 3 — плотик; 4 — пойменная фация аллювия; 5 — русловая фация аллювия; 6 — базальный горизонт аллювия; 7 — уровень концентрации золота

При общем увеличении скоростей скорость у дна возрастает быстрее. По эмпирической формуле Базена

$$v_{\text{дон}} = v_{\text{пов}} - 20\sqrt{HJ},$$

где $v_{\text{дон}}$ — донная скорость; $v_{\text{пов}}$ — поверхностная скорость; H — глубина; J — уклон. Соотношение средней скорости $v_{\text{ср}}$ и поверхностной

скорости определяется по формуле $v_{ср} = Kv_{пов}$. Эмпирически коэффициент K равен 0,79—0,91, а при редкоповторяющихся катастрофических паводках K может быть и 0,94—0,95.

Скорость у дна измеряется обычно на расстоянии в 2—3 см от него. Между тем падение скоростей в пограничном слое толщиной 1 см наиболее значительно. Но измерение скоростей здесь затруднительно, и формулой Базена оно не учитывается. Лежащая на дне галька даже с диаметром более 1 см в значительной части выступает из пределов пограничного слоя затухания скоростей, и поток стремится ее сдвинуть. В то же время золотины, даже крупные, из него не выступают, особенно в микропонижениях ложа потока, между гальками или в микропонижениях плотика, кавернах и зазубринах его щетки.

Положение (высота) ложа потока, где происходит накопление тяжелой фракции над поверхностью плотика, изменчиво во времени. По этой причине изменение содержаний минералов тяжелой фракции в вертикальном разрезе аллювия происходит не плавно, обнаруживая пики и спады. Каждому пику содержаний соответствует имевшее когда-то место положение дна потока. При повторных глубоких размывах, т. е. при высоких паводках, обогащенный слой разрушается, тяжелая фракция просаживается ниже.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛОТА ПО ПОПЕРЕЧНОМУ ПРОФИЛЮ ДОЛИНЫ

В поперечном разрезе через долину содержание в обогащенном пласте не равномерно. На общем фоне распределения золота намечаются более богатые «струи» и участки обедненные. Содержания в струе и вне ее отличаются в несколько раз, иногда в несколько десятков раз. В пределах самих струй содержания также не устойчивы, отклонения от среднего значения заметно меньше. Наличие обогащенных струй фиксируется и в очень богатых россылях, в которых промышленный контур занимает все дно долины. Средняя ширина обогащенной струи несколько меньше ширины русла данного водотока. Большинство струй (70—90%) приурочено к ложбинам плотика. Однако часто можно констатировать отсутствие повышенных содержаний в некоторых из ложбин плотика.

Резкое изменение содержаний (в 10—100 раз) иногда наблюдается для скважин, расположенных на расстоянии 1 м друг от друга. Большой же частью на таком расстоянии содержания меняются не более чем в 2—3 раза. Однако и такие различия могут изменить оценку россыпи, особенно если содержания лежат на грани допустимых.

Колебание содержаний в пределах нескольких метров или долей метра обусловлено наличием выступов и западин плотика, различными размерами галек и валунов на дне потока, скоплениями валунов и крупной гальки, образующими вытянутые по течению «острова» или полосы в толще аллювия. Наличие струй, равных по ширине современному руслу, приходится связывать с максимальными размывами коренного ложа при катастрофических паводках. Заметим, что максимальный размыв и скорости течения у дна достигаются в тех случаях, когда простираение плесовой ложбины совпадает с направлением оси долины, т. е. с наибольшими уклонами. Поэтому и ложбины плотика вытянуты вдоль по течению.

Изменения содержаний золота в толще аллювия по вертикали и по поперечнику долины в десятки раз более изменчивы, чем изменения среднего размера гальки. Это указывает на то, что если распределение галечника по крупности зависит от «макроструктуры потока», то рас-

пределение крупинок золота зависит, кроме того, и от его микроструктуры в придонном слое, определяемой наличием малоподвижных валунов и галек и выступов плотика.

Глава 10

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛОТА ВДОЛЬ ПО ДОЛИНЕ

Значение особенностей переноса золота для формирования россыпей

Свидетельства переноса золотин водным потоком

Свидетельства ограниченности переноса золота

Пассивное (россыпеобразующее) и активное (уносимое) золото

Изменения гранулометрического состава аллювия и крупности золотин вдоль по простиранию долины

Влияние притоков на распределение золота вдоль по долине

Изменение линейных запасов по долине, следующей вдоль рудоносной зоны

Россыпи в долинах разных порядков

Влияние врезания и аккумуляции в долине на перенос золота

Некоторые особенности оценки данных разведки

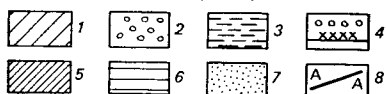
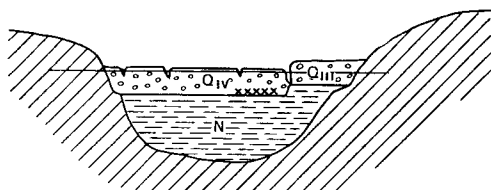
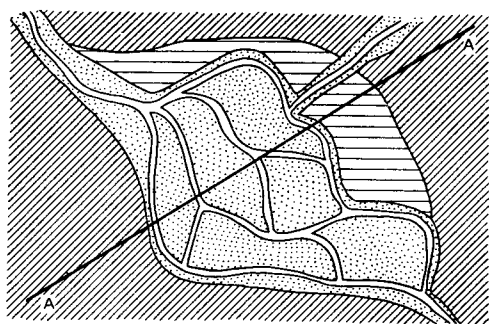
Основные выводы

ЗНАЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЕРЕНОСА ЗОЛОТА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ РОССЫПЕЙ

Изучение распределения золота вдоль по долине представляет интерес в трех отношениях. Во-первых, при постановке поисковых и разведочных работ желательно знать, как далеко можно «вытянуть» россыпь, если она получает питание из одного коренного источника. Во-вторых, данные о вытянутости россыпи могут иметь существенное значение при поисках россыпей в аналогичной металлогенической и геоморфологической ситуации, особенно в смежных и близлежащих речных долинах. В-третьих, прослеживая россыпь, можно подойти к коренным источникам. Рудные месторождения на Урале, в Забайкалье, в Приамурье были обнаружены именно как коренные источники россыпей, но не путем анализа металлогенических, геологических данных.

Вытянутость россыпей вдоль по течению реки теснейшим образом связана с дальностью переноса золота от коренного источника. Представления исследователей о транспортировке золотин существенно расходятся. Одна группа исследователей считает, что золотины могут переноситься далеко от коренного источника и концентрироваться в местах с благоприятной гидравлической обстановкой (гидродинамическими условиями). Другая группа исследователей придерживается мнения, что свободное золото почти не переносится водным потоком и, попадая в него, захоронивается непосредственно вблизи этого места. Третья группа исследователей придерживается компромиссной точки зрения. Перенос зависит от соотношения размеров золотин, скоростей водного потока (типа рельефа, к которому принадлежат золотоносные долины) и времени, в течение которого формируется россыпь.

На одной крупной реке имеется расширение долины (рис. 10.1). В пределах расширения аллювиальные отложения лежат на толще неогеновых алевроитов мощностью несколько десятков метров. Вследствие этого исключено поступление золота в четвертичный аллювий из



коренного ложа долины реки. Притоки этой главной реки в устьевых частях слабо золотосодержательны и слишком малы, чтобы насытить золотом до сколько-нибудь заметных концентраций аллювиальные толщи крупной реки. Тем не менее голоценовый аллювий крупной реки в средней части расширения на отдельных участках промышленно золотосодержательны (в прошлом старателями велась добыча). Следовательно, крупная река принесла сверху или получила из притоков достаточное количество золота.

Рис. 10.1. План и поперечный профиль через расширение долины: 1 — коренные породы; 2 — аллювий (пески и галечники); 3 — озерно-аллювиальные суглинки; 4 — россыпь; 5 — коренные склоны и склоны высоких террас; 6 — поверхность первой надпойменной террасы; 7 — поверхность поймы; 8 — линия профиля

СВИДЕТЕЛЬСТВА ПЕРЕНОСА ЗОЛОТИН ВОДНЫМ ПОТОКОМ

Представление Ю. А. Билибина о том, что при наличии мощного коренного источника поступающий из него материал способен поддерживать промышленные концентрации на некотором расстоянии (часто это 1—3 км, иногда до 6 км), опирается на следующие факты.

1. Многие россыпи вытянуты вдоль по долине на 1—3 км, а при высоких содержаниях — до 6 км, иногда и больше.

2. Промышленные контуры россыпи всегда линейно вытянуты. При уменьшении содержания вниз по течению контур повышенных содержания постепенно сужается и россыпь «выклинивается». Обычно расстояние выклинивания — 5—6 км.

3. Окатанность многих золотин, т. е. сглаженность их ребер и граней по сравнению с частицами золота в коренных источниках. В местах, где коренной источник четко ограничен, удается фиксировать окатанность большинства золотин в 2—3 км, а в 6 км золотины окатаны хорошо.

4. Известно, что при разработке россыпей некоторая, хотя и небольшая, часть золотин не улавливается и уходит в отвал. При этом в отвалах оказываются не только пылеватые и весьма мелкие частицы, но также и мелкое золото, а изредка и золотины средних размеров.

5. Для многих россыпей вниз по течению констатируется уменьшение средней крупности и увеличение окатанности золотин. Однако наличие нескольких коренных источников, питающих россыпь, сильно усложняет картину.

6. Для многих россыпей, расположенных в долинах при выходе их из гор на межгорные впадины или предгорные равнины, не удается установить коренные источники. По долинам выше россыпей, уже в пределах горных массивов или хребтов, при этом отмечается слабая

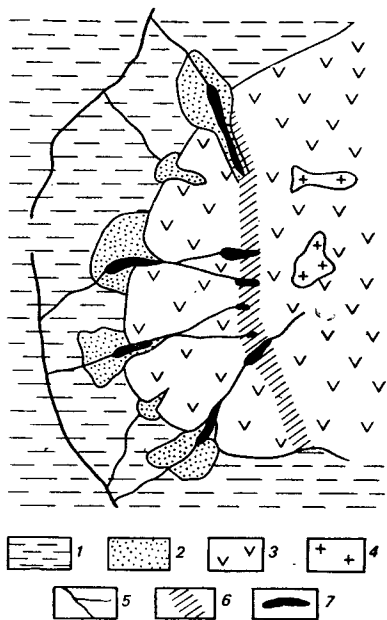


Рис. 10.2. Схема соотношения зоны оруденения и россыпей на периферии горного поднятия (по границе с аккумулятивной равниной):

1 — поверхность аккумулятивной равнины, сложенная рыхлыми отложениями; 2 — поверхность конусов выноса; 3 — поверхности низко- и среднегорного рельефа в области распространения вулканогенно-осадочных толщ; 4 — поверхности среднегогорья в пределах выходов интрузий гранитов; 5 — тальвеги долин; 6 — зона оруденения; 7 — россыпи

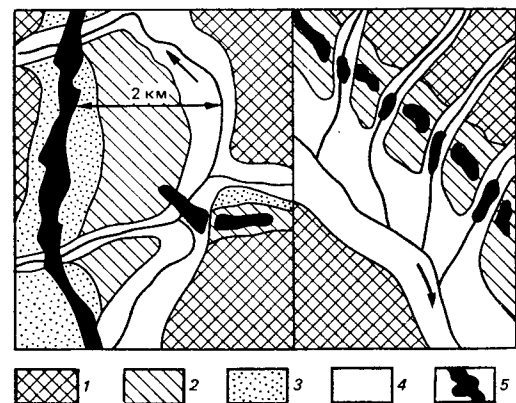


Рис. 10.3. Положение россыпей относительно поймы и террас по речным долинам:

1 — коренные породы; 2 — I надпойменная терраса; 3 — террасовал; 4 — пойма; 5 — россыпь

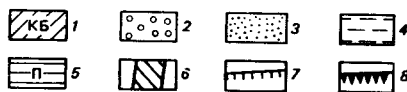
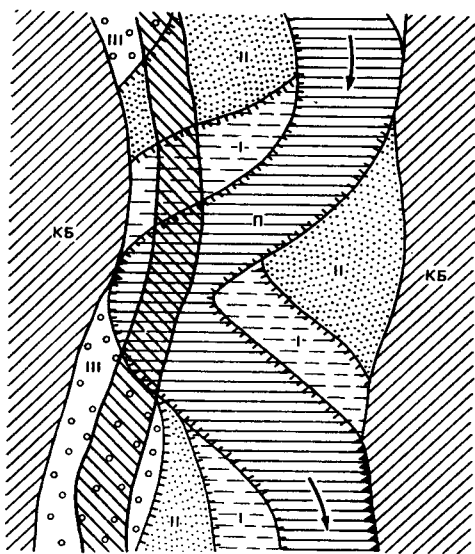
СВИДЕТЕЛЬСТВА ОГРАНИЧЕННОСТИ ПЕРЕНОСА ЗОЛОТА

Многие исследователи (А. Н. Шило, Е. З. Горбунов, Н. Г. Бондаренко, И. П. Карташов и др.) считают перенос золотин крайне ограниченным.

Во-первых, при размыве притоком террасовой россыпи практически отсутствует преобразование россыпи террасы основной реки в россыпь притока (рис. 10.3). Приток, размывая россыпь террасы, переотложил золото в свою пойму, но при этом в плане россыпь не изменила своего положения. Она не смещена притоком вдоль по его течению.

Во-вторых, для низких террас и поймы во многих случаях наблюдается единый контур. Россыпь «спускается» с террасы на пойму и вновь поднимается частично или полностью на террасу. В таких случаях идет переотложение древней богатой россыпи на более низкие уровни (рис. 10.4).

В-третьих, резкие колебания («пики») линейных запасов: максимумы в 5—10 раз превышают средние для данной россыпи «уровни линейных запасов». Иногда эти колебания отчетливо связаны с рудопроявлениями в бортах долины или на ее дне.



В-четвертых, при промывке россыпей золото почти не смещается по промывочному желобу, как бы проектируясь по вертикали на улавливающий трафарет.

Н. Г. Бондаренко (1976) одну из причин малого смещения золота потоком видит в вибрации ложа потока, в том числе и аллювиальной толщи, вызываемой пульсацией скоростей мощной водной массы при больших расходах. Однако вибрация уплотняет породу, но не может вдавить в нее хотя бы и тяжелые,

Рис. 10.4. Схема соотношения россыпи с террасами и поймой:

1 — коренной берег; 2 — III терраса; 3 — II терраса; 4 — I терраса; 5 — пойма; 6 — россыпь; 7 — уступы террас; 8 — подмываемые обрывы коренного берега

но ничтожные по своей массе частицы. Добиться путем вибрации гравитационной сепарации или расслоения породы не удастся. Наблюдений за вибрацией аллювия не производилось, и поэтому нет надежных оснований для того, чтобы придавать ей существенное значение.

ПАССИВНОЕ (РОССЫПЕОБРАЗУЮЩЕЕ) И АКТИВНОЕ (УНОСИМОЕ) ЗОЛОТО

Установлено, что в россыпях низкогорий Северо-Востока СССР крупность золотинок больше 3 мм, и притом более половины золотинок крупнее 5 мм. Золото мельче 3 мм распределяется равномерно по длине россыпи, чем крупное. Следовательно, в процессе накопления россыпей происходит его неравномерное перемещение в зависимости от крупности. Поэтому следует разделять золото на пассивное (больше 5 мм), промежуточное (3—5 мм) и активное (меньше 3 мм). В Приамурье и Забайкалье пассивное золото крупнее 2 мм, а активное меньше 0,5 мм, средняя крупность золотинок меньше и крупность всех трех подразделений уже иная.

При сравнении гранулометрического состава золотинок из коренных источников и россыпей северо-восточной Якутии обнаружилось, что в россыпях имеется большой «дефицит» частиц мелких фракций. По сравнению с коренными источниками в россыпях «не хватает» (по фракциям) 2—1 мм — 10%, 1—0,5 мм — 50, 0,5—0,25 мм — 80, <0,25 мм — 95%. С одной стороны, из этих данных видно, что даже довольно крупные золотины (2—1 мм) частично уносятся из россыпи. С другой стороны, обнаруживается, что не полностью удалены мелкие частицы (<0,25), хотя 95% их и уносятся водным потоком. С полной очевидностью выявляется различная подвижность золотинок в зависимости от их размеров.

Поскольку эти данные получены в условиях продолжающегося пополнения россыпи за счет коренных источников, то можно считать, что

5% мелких частиц — это золотины, относительно недавно поступившие в россыпь. Недостоящие 10% крупных золотин частично следует отнести на истирание — измельчение в процессе перемещения по склону или в самом потоке. Наиболее существенное изменение в выносе частиц происходит как бы «на грани» «пассивного» (2—1 мм) и «промежуточного» (1—0,5 мм) золота. Отмечается быстрая дробимость кварца золотоносных жил в потоке на склоне еще до поступления в поток. На рис. 10.5 видно, что максимум насыщенности россыпей золотом совпа-

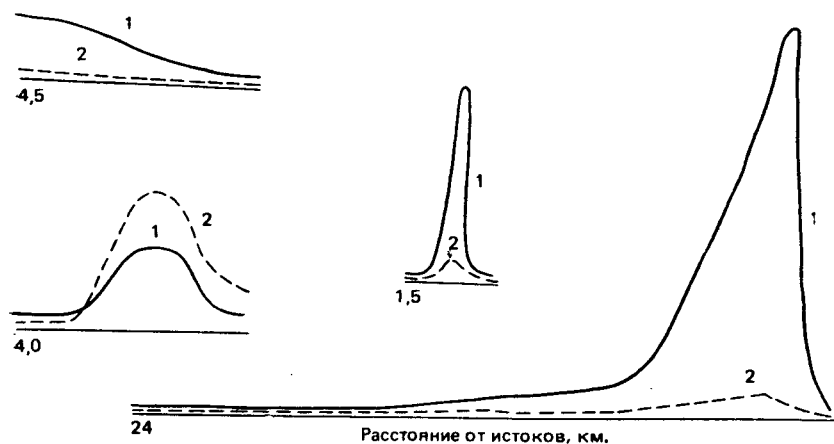


Рис. 10.5. Сопоставление насыщенности россыпей золотом (1) в кг/км и количества обломков кварца в аллювии (2) (по Е. Я. Синюгной и З. В. Стрепетовой, 1970)

дает с таковым жильного кварца. Как только кончается россыпь, из аллювия ниже по долине исчезает и кварцевая галька.

Постоянно отмечается быстрое уменьшение в русле количества гальки тех или иных пород после окончания их выходов по склонам долины. Это явление имеет простое объяснение: значительная часть обломков горных пород поступает в поток со склонов в сильно выветрелом состоянии и доля прочных невыветрелых обломков не велика. «Вытягивание» от коренных выходов и смещение гальки различных горных пород происходит после мощных паводков, повторяющихся раз в 25—50 лет. До прохождения такого мощного паводка от коренных выходов вниз по течению тянется быстро исчезающий шлейф, а после прохождения сильного паводка такие местные концентрации исчезают.

ИЗМЕНЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА АЛЛЮВИЯ И КРУПНОСТИ ЗОЛОТИН ВДОЛЬ ПО ПРОСТИРАНИЮ ДОЛИНЫ

Гранулометрический состав аллювия в основном определяется гидрологическим режимом водного потока. С крупным галечным аллювием (средний размер гальки 5—10 см) связаны россыпи, в которых преобладают (не по количеству, а по весу) золотины размером более 3 мм в поперечнике. В гравийном и грубопесчаном аллювии преобладает мелкое золото (менее 0,5 мм). Таким образом, намечается связь между крупностью аллювия и частиц заключенного в нем золота. Однако это не означает, что количество золотин — содержание — зависит от крупности аллювия. Размер золотин в аллювии определяется их

размерами в коренных источниках. На значительных участках протяжения долин осредненный гранулометрический состав аллювия остается почти одинаковым, и в то же время средняя крупность золотин варьирует в широких пределах. Равным образом резко меняются содержания линейных запасов и общее богатство россыпи, хотя характер строения аллювиальной толщи остается при этом неизменным (рис. 10.6).

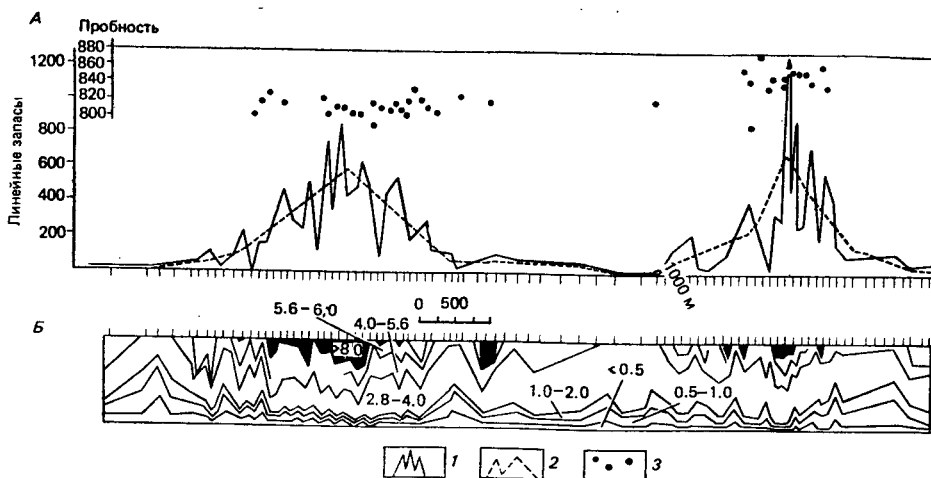


Рис. 10.6. Изменение линейных запасов (усл. ед.) вдоль по долине (А) и соотношение фракций (%) (Б):
1 — линейные запасы; 2 — обобщенные линейные запасы; 3 — пробность

Сплошной ломаной линией показано изменение линейных запасов по разведочным линиям. Пунктирной — изменение хода линейных запасов при осреднении случайных величин, полученных по линиям. На графике Б показано соотношение золотин по крупности. Отчетливо видно наличие двух мест резкого увеличения линейных запасов. Одновременно наблюдаются и резкие колебания размеров золотин. Гранулометрический состав аллювия остается без изменений. Частицы золота и галечник переносятся в одном потоке с влекомых наносов, но движутся они по разным законам. В грубых галечниках «дефицит» тонких фракций золотин выражен более резко, чем в мелком галечнике. Иными словами, чем выше скорости потока, тем сильнее ощущается «дефицит» мелких фракций.

ВЛИЯНИЕ ПРИТОКОВ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛОТА ВОДОПОДАВАЮЩИХ ДОЛИНАХ

Поскольку формирование долин притоков, как и всей долиновой сети, шло одновременно с развитием долины главной реки, при выработанных продольных профилях скорости долиноформирующих расходов на всех реках бассейна одинаковы или весьма близки. Речь идет, разумеется, о долинах рек одного типа рельефа. Параллельно с долиноформирующими скоростями течения меняется и крупность руслового и базального аллювия. Обычно крупность галечников русловой фации притоков и главной реки почти не отличаются.

Срок прохождения максимумов уровней и скоростей на главной

реке и притоке близ его устья часто могут не совпадать. В приустьевой части долин притоков и близ их устья на главной реке отмечаются некоторые специфические особенности строения. В приустьевой части притоков резко увеличивается высота поймы, которая формируется в половодье в результате подпруживания главной рекой. В межень на притоках близ устья наблюдается участок с повышенным уклоном или даже «приустьевая ступень». Иногда это явление принимается за свидетельство усиления врезания главной реки, обусловленного новейшими поднятиями. Близ устья на притоке нередко наблюдается одна или две крупных излучины. В долине главной реки у устья притоков постоянно наблюдаются микродельты или конусы выноса, существующие лишь короткое время между крупными паводками, во время которых они срезаются мощной струей главной реки. С течением времени крупный приток своими наносами может «оттеснить» русло главной реки к противоположному склону. Вследствие этого близ устьев притоков лучше сохраняются надпойменные террасы.

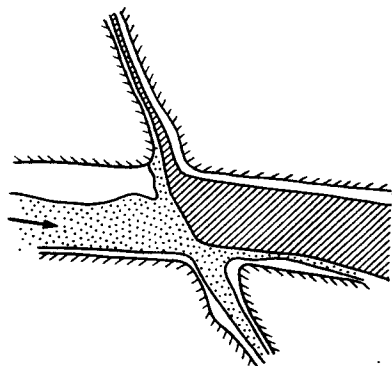
Россыпь притока может или «срезаться» главной рекой, или некоторое время продолжаться по ней. «Срезание» обычно наблюдается в двух случаях: 1) если приток значительно меньше главной реки; 2) если содержание золота в россыпи притока находится на грани промышленного. В этом случае золото притока быстро рассредоточивается во много большем по объему «пустом» аллювии главной реки.

Продолжение россыпи притока в аллювии главной реки наблюдается постоянно. Это зависит от соотношения рек по величине, общего количества полезного компонента россыпи притока. Иногда могут оказать влияние и некоторые другие факторы. Рассмотрим возможные варианты.

Аллювий главной реки выше устья притока имеет россыпь, содержания которой близки к промышленным. Содержание золота в аллювии притока высокое, при этом достаточно велика доля «активного» (легко перемещаемого) и «промежуточного» золота. В таком случае в долине главной реки на многие сотни метров, иногда на первые километры, прослеживается россыпь в виде струи, тянущейся вдоль того борта, с которого впадает приток. Вытянутость будет зависеть от соотношения размеров сливающихся водотоков, от общего количества золота, выносимого в долину.

Второй вариант. Главная река течет вдоль склона хребта или массива — блока, приподнятого неотектоническими движениями. Притоки, стекающие с массива, в результате недавних поднятий имеют несколько более крутой профиль. При выходе притоков в главную долину скорости их течения уменьшаются и часть «активного» золота становится «промежуточным», а «промежуточного» — «пассивным» (россыпеобразующим). В результате в устьевой части притоков и ниже по главной долине формируются россыпи. Одновременно происходит отложение и пустого материала, в результате чего образуется конус выноса, а при больших размерах реки — внутренняя дельта. Обычно отложение пустого материала и золота в таких местах неустойчиво, оно неоднократно прерывается, причем пустой материал уносится, а золото остается. Этим самым неоднократная смена аккумуляции врезанием способствует формированию россыпей в устьевых частях и отчасти по главной долине у устья притока. Часто отмечается, что наиболее богатая часть россыпи расположена в верхней части конуса выноса.

Третий вариант. На рис. 10.7 показано продолжение россыпи небольшого притока в долине главной реки. Увеличение концентрации и чинейных запасов золота в долине близ устья притоков констати-



руется довольно часто. Это явление можно объяснить тем, что долина главной реки близ устья притока пересекает зону дробления, пронизанную кварцевыми золотоносными жилами, или скарны близ малых интрузий.

Остановимся на «поперечных» россыпях, протягивающихся поперек терра-

Рис. 10.7. Продолжение россыпи притока в главной долине:

1 — борта долин; 2 — промышленная россыпь; 3 — непромышленная россыпь; 4 — дно долины (пойма и первая надпойменная терраса), лишенное россыпи

соувалов и пойм днищ широких долин рек высоких порядков. Большинство исследователей считают, что «поперечные» россыпи являются почти не преобразованными россыпями низовий долин прито-

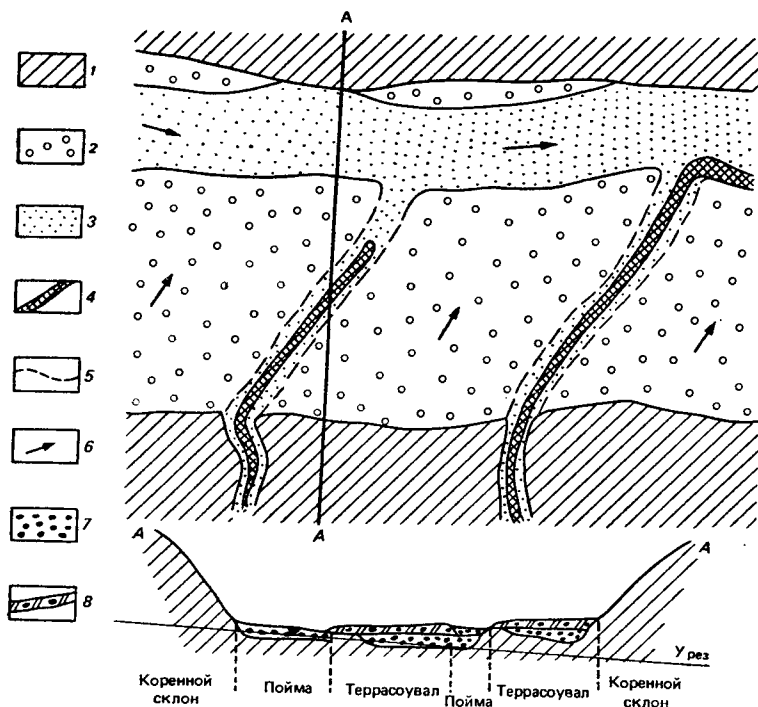


Рис. 10.8. Положение «поперечной» россыпи:
 1 — крутые коренные склоны долины ($15-35^\circ$) с участками высоких цокольных террас; 2 и 3 — широкое, почти горизонтальное днище долин; 2 — ровная слабонаклонная ($2-4^\circ$) поверхность террасоувала с высотами у шовной линии до 40 м над уре-
 зом; 3 — почти горизонтальная (с уклоном вниз по долине) поверхность поймы; 4 — россыпь в долинах притоков, почти не вре-
 занная в поверхность пологого террасоувала; 5 — границы четкие (сплошная линия) и сглаженные; 6 — направление уклона поверх-
 ности; 7 — аллювиальные галечники; 8 — смещенный склоновыми процессами галечник с суглинком и щебнем

ков, срезанных главными реками при интенсивной боковой эрозии (рис. 10.8). Принимая это объяснение, мы допускаем, что россыпь совершенно не испытывает перемещения при переотложении, даже в случае, если на большом протяжении плотик россыпи срезается склоновыми процессами, а не потоком в ходе углубления долины, поскольку поперечная россыпь находится на террасовале. Поверхность коренных пород в пределах террасовала местами прорезана долинами притоков. Формирование «поперечной» россыпи происходило в пределах поймы главной реки, а не террасовала. В случаях, когда «поперечная» россыпь расположена уже на пойме главной реки, конец «завернут» вниз по течению, т. е. россыпь перестает быть поперечной.

Широкая и плоская слабонаклонная поверхность террасовала главной реки в ходе длительной истории развития служила местом аккумуляции аллювия. Отложившийся в эпохи накопления констративный аллювий был слабо золотососен за счет выноса из притоков. Последующее врезание притоков в толщи констративного аллювия, накопившегося в долине главной реки, происходило с той же интенсивностью, что и снижение дна долины в пределах террасовалов. Снос рыхлых толщ протекал быстро, а срезание коренного цоколя — во много раз медленнее. Поэтому долины небольших притоков не углублены в террасовалы. Долины более крупных притоков в приустьевой части уже несколько врезаны в его поверхность. Самые мелкие по водности притоки даже несколько приподнимают днища долин над поверхностью террасовала, а русла их теряются на его поверхности. Общая картина усложняется в зависимости от гранулометрического состава и, следовательно, степени подвижности золотин притоков. Россыпи не имеют продолжений в пределах террасовалов, если они получают питание от коренных источников, в которых преобладает крупное золото.

ИЗМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ЗАПАСОВ ПО ДОЛИНЕ, СЛЕДУЮЩЕЙ ВДОЛЬ РУДОНОСНОЙ ЗОНЫ

Во многих случаях, когда долина реки выработана по оруденелой зоне дробления, можно наблюдать увеличение линейных запасов вдоль по долине от верховьев к устью. Это явление может быть объяснено частичным сносом золота вниз по долине от так называемой «головки» россыпи или увеличением содержаний в рудах коренного источника. Кроме того, вниз по течению увеличивается поперечное сечение долины. Изменение поперечных сечений долин разных порядков определяет величину перемытого рекой материала, и в том числе горных пород рудопроявлений. Чем больше сечение, тем больше при прочих равных условиях разрушено, переотложено и перемыто горной породы. Надо, конечно, учитывать, что водотоки первого и второго порядка могут иметь разную морфологию. Большой частью они не глубоки, относительно широки, поскольку до них волны свежего эрозионного вреза докатываются с опозданием, будучи в той или иной мере ослабленными. В других случаях это узкие V-образные врезы, в третьих — широкие и глубокие эрозионные воронки. Во всех случаях вниз по течению сечение аллювиальной толщи возрастает. Именно это и служит причиной увеличения линейных запасов, разумеется, до тех пор, пока не меняется насыщенность коренными рудопроявлениями размываемых горных пород.

Мы уже говорили, но нелишне подчеркнуть, что обычно используемый критерий размера водотока — его порядок — весьма не совершенен. Однако несравнимо лучший критерий водности реки или ручья — площадь его водосбора — используется редко, так как требует проведения измерений и деления на группы долин и водотоков. Использование порядка водотока не сложно, но надо помнить, что этот признак формальный.

В руслах рек с бассейнами разных размеров при выработанных продольных профилях скорости течения во время прохождения долиноформирующих расходов одинаковы, как одинакова и способность их транспортировать обломочный материал определенной крупности.

Поэтому нельзя полагать, что из долин первого-второго порядка золото легче и быстрее выносится, чем из более крупных, или что в крупных долинах (седьмого и более высоких порядков) обязательно должна происходить аккумуляция «пустого» материала. При выработанных продольных профилях баланс рыхлого материала по главному эрозионному стволу и его разветвлениям уравновешен, и речная саморегулирующая система чутко реагирует на малейшие нарушения баланса в какой-либо части дренажной системы (речной сети).

Долины разных порядков различаются размерами поперечных сечений, т. е. объемами горных пород, перемытых потоком, шириной поймы, шириной и сохранностью днищ древних врезов и террас. Кроме того, россыпи малых долин не только уже, но и короче россыпей более крупных долин. При равных содержаниях, близких соотношениях торфов и песков, россыпи малых долин (первого и второго порядков) всегда имеют меньшие запасы. Среди россыпей золота в долинах первого и второго порядка есть россыпи, давшие по 3—5 т золота. Однако таких весьма и весьма немного.

По всем золотоносным районам основные запасы россыпного золота по общему объему запасов и добычи находятся в долинах третьего — шестого порядков. Однако доля промышленно золотоносных долин (из общего числа их) не выше, чем среди долин низких (первого и второго) порядков. Множество мелких россыпей дает небольшую часть общей добычи. К крупным долинам (седьмого и более высоких порядков) приурочена малая доля общих запасов, но почти в каждой крупной долине золотоносных районов есть хотя бы небольшая россыпь.

ВЛИЯНИЕ ВРЕЗАНИЯ И АККУМУЛЯЦИИ В ДОЛИНЕ НА ПЕРЕНОС ЗОЛОТА

При накоплении материала в долинах поток не в силах унести даже весь пустой материал, который поступает в сферу его деятельности на пойменное дно долины. Даже при наиболее высоких уровнях, максимальных расходах и скоростях поток перестает соприкасаться с коренным ложем долины — плотником. Неподвижным остается и базальный горизонт аллювия. При максимальных скоростях формируются «подвешенные» горизонты, обогащенные золотом, вновь поступившим из коренных источников на бортах долины или от частичного размыва древних террас. Обстановка для формирования россыпи неблагоприятна.

Значение углубления долин для формирования золотоносного аллювия оценивается разными исследователями по-разному. Одна группа исследователей, например Е. Я. Синюгина (1976), указывает на усиленный размыв в это время и рассеивание золота. И. П. Карташов,

наоборот, считает, что россыпи в основном приурочены к инстративному аллювию, т. е. аллювию, сформированному при врезании рек. Ю. Н. Трушков (1972) считает, что в ходе врезания, длившегося миллионы лет (естественно, с перерывами), происходит «...массовый перевод запасов золота из коренных источников в аллювий и образование россыпей с параллельным переотложением их на более низкие эрозионные уровни». С течением времени идет постепенная дифференциация по крупности. Только после того как долины углубятся ниже уровня подошвы основной массы коренных источников, начнется разубоживание россыпей.

Наличие единого контура россыпи для нескольких террас свидетельствует об устойчивости россыпей к размыву. В то же время в погребенных «каньонах» (узких долинах, прорезающих древние ширококонтурные россыпи) мы видим лишь обеднение — разубоживание — россыпи. Следовательно, можно считать, что при врезании происходит потеря части материала. Величина потери определяется глубиной и длительностью врезания, подвижностью золота, т. е. его крупностью. Растягивание вниз по долине россыпи в ходе ее размыва и переотложения зависит от того, насколько велико углубление долины.

При пересечении долиной горного хребта резко меняется морфология долины — сужаются террасы, пойма и русло, склоны становятся круче. Меняется и уклон дна долины, хотя и в меньшей степени. В некоторых случаях в русле появляются пороги и шиверы, в других же — уклон остается почти равномерным, особенно при высокой воде.

Пересечение хребтов, как и пересечение впадин, неблагоприятно для образования россыпей. В сужениях происходит вынос значительной части мелких фракций золота; в расширениях (во внутригорных впадинах) — частичное разубоживание. Для образования россыпей благоприятны только участки долин при выходе из гор на равнину.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ДАННЫХ РАЗВЕДКИ

Золото распределено в толще аллювия весьма неравномерно. Вертикальные запасы всегда отличаются в 2—3 раза, а иногда и в десятки раз. При сравнении линий мы уже имеем дело со значительным осреднением данных, и все же линейный запас быстро изменяется от места к месту — график линейных запасов напоминает пилу. Если несколько сдвинуть — на 20—50 м — всю систему разведочных линий вверх или вниз по долине, то график в принципе остался бы прежним, т. е. был бы «зубчатым», хотя положение максимумов и минимумов изменилось.

Таким образом, разведка бурением дает лишь общую оценку россыпи, однако этого достаточно для суждения о ее использовании. Если бы оценка была искаженной, ею нельзя было бы пользоваться для промысленных целей. Данные, получаемые по буровым и шурфовым линиям, как правило, несколько занижают содержание золота в россыпях и, следовательно, его запасы. Это усугубляется и невысокой точностью опробования. Более точные данные получают при разведке траншеями, и полная картина строения россыпи выявляется при ее отработке.

На рис. 10.9 показаны линейные запасы по россыпи. Пунктиром показаны линейные запасы по данным разведки, а сплошной линией — линейные запасы по данным добычи. На графике видно, что, во-первых, линейные запасы, по данным добычи, изменяются в большей мере, чем таковые, по данным разведки. Это указывает на неравномерность распределения золота вдоль по долине. Во-вторых, долина пересекает

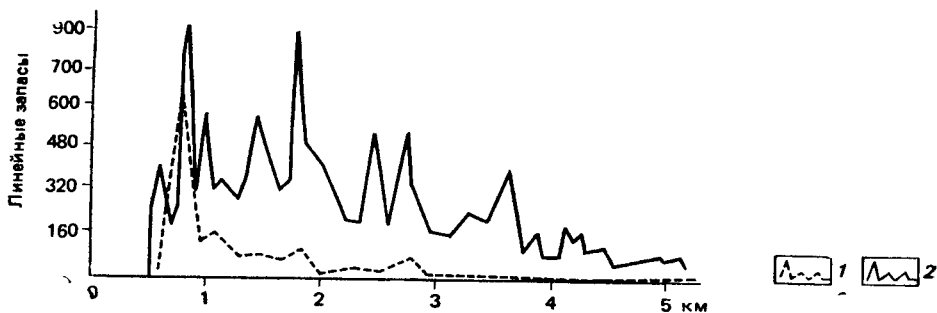


Рис. 10.9. Линейные запасы золота по данным разведки (1) и эксплуатации (2)

рудоносную зону, в пределах которой вскрыто несколько коренных источников. Об этом свидетельствуют «пики» линейных запасов, обусловленные поступлением в аллювий золотин крупнее 2 мм. В-третьих, осредненные контуры линейных запасов, по данным разведки и по результатам добычи, как бы подобны, только протяженность россыпи и запасы, определенные по результатам добычи, в несколько раз больше. В-четвертых, колебания линейных запасов происходят главным образом за счет крупных фракций. Распределение линейных запасов и их размер, если считать только частицы менее 1 мм в поперечнике, оказываются более сглаженными, а линейные запасы частиц золота менее 0,5 мм очень постепенно меняются вдоль по долине.

Таким образом, распределение золота вдоль по долине намечается в общих чертах при анализе данных разведки. При анализе же данных добычи намеченные закономерности становятся отчетливой. Строение россыпи сложно. Содержание и распределение золота в реальной действительности крайне изменчивы. Данные, которые мы получаем при разведке и добыче, позволяют судить об общих закономерностях, но не об особенностях коренных россыпей.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Вытянутость россыпи вдоль по долине возникает в ходе формирования россыпи, в результате длительного размыва многочисленных рудопоявлений (приуроченных к рудоносной зоне или промежуточному коллектору).

2. Растянность (линейность) россыпи зависит от нескольких причин: а) скорости водного потока; б) способности частиц золота перемещаться, т. е. крупности и формы золотин (гидравлической крупности), степени высвобождения золотин из породы и глинистости аллювия; в) времени воздействия потока на аллювий. Последнее зависит и от глубины прорезания рудных толщ и от природных условий. Было бы неверно считать, что дальность сноса золотин определяется только глубиной расчленения (при равных скоростях потока и гидравлической крупности золотин), так как при переотложении россыпи с террасы в пойму высота террасы над поймой имеет второстепенное значение.

3. Россыпи золота не могли бы возникнуть, если бы золото легко переносилось (быстро перемещалось) потоком. Основу россыпей образуют «пассивные» золотины, весьма слабо перемещаемые водным потоком.

4. Степень «пассивности» золотин (оценка условий формирования россыпей) может быть оценена по рис. 10.10. Крупность золотин пассивного, промежуточного и активного золота изменяется в зависимости

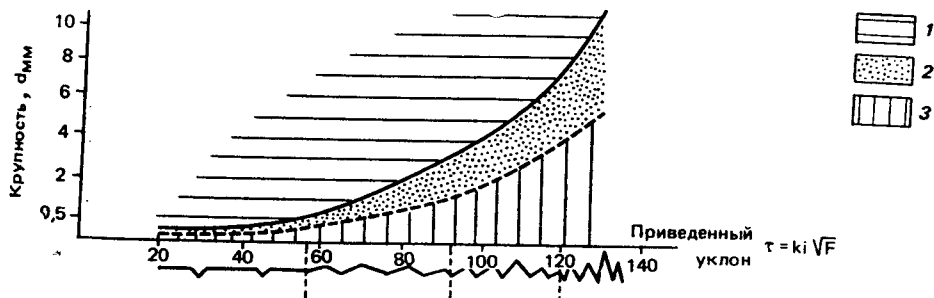


Рис. 10.10. Подвижность частиц золота (пассивное золото — россыпеобразующее — 1, промежуточное — 2 и активное — относительно быстро перемещаемое — 3) в зависимости от размера частиц ($d_{мм}$) и приведенного уклона ($\tau = Ki\sqrt{F}$)

от величины приведенного уклона (скорости течения), т. е. от типа рельефа.

5. Показанное на графиках увеличение доли крупного золота в большинстве соответствует или предшествует пикам линейных запасов. Колебания крупного золота (6—8 и даже 2—6 мм) всегда велики, в то время как колебания количества мелкого золота (менее 0,5 мм) существенно менее значительны. Еще более велики колебания общего содержания крупного золота, в то время как мелкие фракции довольно выдержанны в пределах россыпи.

6. Особенно резкие пики крупного золота на графиках линейных запасов свойственны долинам в пределах рудных зон. «Растянутость» высоких содержаний крупного и среднего золота свидетельствует о длительности формирования россыпи, неоднократном ее перетолжении на все более низкие уровни.

Глава 11

ОСОБЕННОСТИ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ ПЛАТИНЫ, КАССИТЕРИТА И АЛМАЗОВ

Общие черты сходства и различия россыпей платины, касситерита и алмазов

Особенности аллювиальных россыпей платины

Особенности аллювиальных оловянных россыпей

Особенности аллювиальных россыпей алмазов

ОБЩИЕ ЧЕРТЫ СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ РОССЫПЕЙ ПЛАТИНЫ, КАССИТЕРИТА И АЛМАЗОВ

Россыпи платины, касситерита и алмазов, как и россыпи золота, обычно приурочены к аллювиальным отложениям. Россыпи этих минералов обладают специфическими особенностями. Платина, касситерит и алмаз обладают высокой механической прочностью и устойчивостью по отношению к выветриванию, особенно химическому.

Удельный вес и приуроченность коренных источников этих минералов к определенной металлогенической обстановке различны. Частицы платины размером более 3—5 мм очень медленно перемещаются, даже быстрыми реками среднегорий, и образуют россыпи близ корен-

ных выходов — не далее 300—500 м от них. Частицы алмаза, удельный вес которого лишь немного больше такового горных пород, образующих аллювий, несравнимо более подвижны. Даже крупные кристаллы алмаза (3—5 мм) за геологически длительное время могут быть перенесены на десятки и даже сотни километров. Поэтому россыпи алмазов «растянуты» вдоль по долинам рек.

Касситерит занимает промежуточное положение. Гидравлическая крупность его частиц тех же размеров, что и платина, в два раза меньше, чем у последней. Казалось бы, пространственно россыпи касситерита должны быть менее тесно связаны с коренными источниками, чем россыпи платины (или золота). В действительности россыпи касситерита обнаруживают четкую, легко устанавливаемую связь с коренными источниками. Это объясняется двумя причинами.

Во-первых, во всех коренных источниках касситерита преобладают относительно крупные частицы, более крупные, чем у платины и золота. Они мало «подвижны» и образуют россыпи, прилегающие к коренным источникам.

Во-вторых, касситерита в промышленной россыпи содержится в 10 000 раз больше, чем золота или платины. Поэтому касситерит «заметен» в аллювии и прослеживание путей его миграции не требует значительных усилий.

Связь россыпей алмазов с коренными источниками устанавливается с большим трудом из-за быстрой перемещаемости кристаллов алмаза и низких концентраций его в россыпях и коренных источниках.

ОСОБЕННОСТИ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ ПЛАТИНЫ

Размеры знаков платины и частиц россыпного золота одинаковы. Поскольку удельный вес золота и платины практически одинаков, вполне закономерна концентрация в аллювиальных толщах, сходных по условиям формирования. Два разных металла (золото и платина) в рудах представлены частицами близкой величины, хотя генезис руд имеет мало общего. В россыпях платины частицы крупнее 10 мм относительно много. Россыпи платины поэтому довольно компактны, тесно прилегают к коренным источникам. Отмечаются и мелкие частицы платины. Для платины, как и для золота, известны находки самородков. Самый крупный самородок платины, извлеченный из коренных руд, весил 427,5 кг. При разработке россыпей поднимались самородки весом до 9 кг.

Строение платиновых россыпей в принципе не отличается от золотоносных. На разведочных поперечных профилях отчетливо видна приуроченность промышленного пласта к базальному, отчасти русловому горизонтам аллювия, а также к верхней (30—60 см) части плотика. Характерны вытянутость промышленных струй аллювия вдоль долины и значительные колебания линейных запасов. Увеличение линейных запасов происходит за счет зерен крупной фракции, мелкие же частицы более равномерно распределяются вдоль по долине. С увеличением порядка водотока промышленный пласт все четче обособляется от «торфов» и «прижимается» к плотику.

Параметры платиновых россыпей в основной массе такие же, как и золотоносных. Мощность пласта обычно 1—2 м, ширина контуров — десятки, редко первые сотни метров. Вертикальные и линейные запасы примерно такие же, как и у россыпей золота. Соответственно и приемы при поисках и разведке платиновых россыпей применяются такие же, как и для россыпей золота.

Однако есть моменты, осложняющие поиски платиновых россыпей. При отмывке в лотке в конце промывки золотины всегда заметны, когда шлик сосредоточивается в желобке лотка. Частички же платины в гораздо меньшей степени бросаются в глаза. Россыпи золота обычно располагаются группами, для россыпей платины это явление выражено менее отчетливо.

ОСОБЕННОСТИ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОЛОВЯННЫХ РОССЫПЕЙ

Геоморфологические особенности районов распространения аллювиальных россыпей олова. Россыпи олова приурочены к более узкому диапазону типов рельефа, чем россыпи золота. Для районов, где обнаружены россыпи касситерита, характерен низкогорный тип рельефа, сформированный в результате деятельности водных потоков, протекавшей длительное время — порядка миллионов лет.

Большая часть известных в настоящее время аллювиальных россыпей олова находится на Северо-Востоке СССР, в Забайкалье, Казахстане, Приамурье, Монголии, Корее, на юге КНР, в странах Юго-Восточной Азии. Во всех этих районах они формировались и сохраняются при наличии низкогорного рельефа. Аллювиальные россыпи олова встречаются и в условиях рельефа, переходного от низкогогорья к среднегорью или от низкогорья к полуравнинному — сопочному. Все эти россыпи автохтонные — тесно связанные с коренными источниками.

По периферии низкогорных поднятий (иногда территорий со среднегорным или сопочным рельефом) отмечаются аллохтонные россыпи более мелко-касситерита, приуроченные к пролювиальным, дельтовым или морским отложениям. Известны единичные случаи образования аллювиальных россыпей касситерита в условиях высокогорного рельефа. Таковы россыпи вблизи крупнейшего коренного месторождения в Боливии. Здесь благодаря наличию громадного коренного источника вопреки неблагоприятным условиям рельефа все же сформировались аллювиальные россыпи олова.

Приуроченность аллювиальных россыпей олова (автохтонных) к низкогорному рельефу объясняется сочетанием двух факторов.

Во-первых, размер аллювиальной россыпи зависит не только от содержания полезного компонента в коренном источнике, но и от его суммарных эродированных запасов, т. е. количества касситерита, «поставленного» склоновыми процессами в сферу деятельности потока за все время развития долин.

Во-вторых, поступивший на дно долин касситерит не должен быть вынесен водным потоком. В условиях высокогорного и в значительной мере среднегорного рельефа скорости течения слишком значительны, и огромная масса касситерита, в основном более мелкого ($>3-5$ мм), выносится из гор на предгорные равнины. Оставшегося на месте крупного касситерита не всегда достаточно для того, чтобы создать в аллювии промышленные концентрации.

Анализ истории развития рельефа при поисках оловянных россыпей может представлять интерес для выявления оптимального денудационного среза. Коренные источники россыпного касситерита образуются главным образом на глубинах порядка 2—3,5 км, во всяком случае не менее 1 км. Следовательно, районы современного магматизма (вулканической деятельности) не могут рассматриваться как благоприятные, поскольку в них преобладают аккумулятивные вулканические формы рельефа, а денудационный срез незначителен.

На Северо-Востоке СССР сформированные в эпоху мезозойской

складчатости и магматизма коренные источники касситерита дали начало основным оловоносным россыпям в неоген-четвертичное время, когда в результате дифференцированных тектонических движений вновь возникли низкие и средневысотные горы. История развития рельефа была благоприятна для формирования широких и глубоких долин, в аллювии которых из огромных объемов перемытых коренных источников олова сконцентрировались значительные количества полезного компонента.

Приуроченность основной массы оловоносных россыпей к долинам рек определенного порядка немного изменяется от района к району. Так, на Северо-Востоке СССР наибольшей продуктивностью в пределах территорий, испытавших в неоген-четвертичное время поднятие более 1200 м, обладают долины четвертого порядка. Для районов, где поднятие меньше (до 600—1200 м), максимальная продуктивность оловоносных россыпей приходится на долины третьего порядка, а для районов слабых поднятий (менее 500 м) — на долины первого-второго порядка (рис. 11.1). Иными словами, чем глубже расчленен рельеф,

больше объем перемытой реками горной массы, больше скорости водотоков, тем ко все более высоким порядкам долин приурочены промышленные оловоносные россыпи. Однако

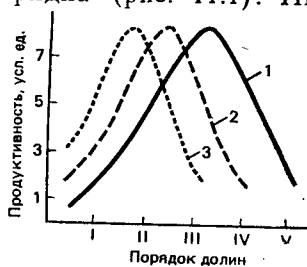


Рис. 11.1. Продуктивность оловоносных долин разного порядка в различных морфоструктурах с амплитудой поднятия:

1 — более 1200 м, 2 — 600—1200 м, 3 — менее 600 м.
По Г. Ф. Павлову, Ю. А. Травину (1972)

приуроченность наибольшей продуктивности к долинам рек, имеющим определенные размеры, т. е. площади бассейнов, зависит не только от глубины расчленения рельефа и объемов переработанной горной массы, но и от группировки коренных источников по площадям. При мощных коренных источниках богатая россыпь может быть и в крупной долине. Если источники бедные и небольшие, то они могут обеспечить высокие концентрации лишь в отдельных долинах первого-второго порядка.

Важнейшие оловоносные районы приурочены к зоне мезозойской складчатости, вытянутой широкой полосой вдоль восточной окраины Евразийского материка. Россыпи касситерита в МНР, Забайкалье, Казахстане также связаны с территориями с низкогорным или сопочным рельефом в зоне Монголо-Охотской геосинклинали.

Россыпные районы олова есть и в субарктике, и в умеренных широтах, и в тропиках. Они расположены на берегах морей и в глубине континентов. Это не значит, что в формировании россыпей климатические условия не имели никакого значения. Как мы увидим ниже, особенности климата нашли свое отражение в некоторых деталях формирования россыпей олова.

Особенности геологического строения районов аллювиальных россыпей олова. В гл. 3—5 уже говорилось о коренных источниках россыпей олова, а также об элювиальных и склоновых россыпях касситерита. Можно считать бесспорной связь аллювиальных россыпей олова с территориями, в геологическом строении которых принимают участие интрузии гранитоидов. Наиболее распространены в оловоносных районах среднезернистые биотитовые, двуслюдистые, биотит-роговообманковые граниты, слагающие батолиты длиной 30—100 км при ширине

до нескольких километров. В оловоносных районах они, как правило, сочетаются с разнообразными порфировидными разностями, слагающими небольшие интрузии (сателлиты, штоки и дайки), а иногда и довольно крупные интрузии площадью по 20—30 км². Широко распространены скарны, грейзенизированные, ороговикованные и другие горные породы, несущие следы контактового метаморфизма. Интрузии группируются в протяженные ряды, намечая зоны огромных глубинных разломов. Многочисленны и оперяющие разломы с зонами брекчирования различной ширины. При этом коренные месторождения олова приурочены к местам пересечения разломов главных и оперяющих.

Среди осадочных пород, вмещающих интрузии, обычно преобладают толщи сланцев и флишиодные, малопрочные пирокластические породы. Многочисленные жильные образования представлены дайками различных пород, пегматитовыми и гидротермальными жилами, от гипо- до эпитермальных.

На первый взгляд кажется, что упомянутые особенности геологического строения позволяют ориентировать поиски коренных оловоносных месторождений, а вслед за ними и россыпей олова. В действительности перечисленные особенности геологического строения свойственны не только территории с оловоносным оруденением, но и районам полиметаллического, молибденового, мышьякового оруденения, а также районам месторождений слюд, флюорита. Особенно часто подобное геологическое строение свойственно районам месторождений вольфрама, которые во многих местах ассоциируются с оловянными месторождениями и дают начало комплексным олово-вольфрамовым россыпям.

В аллювиальных россыпях наиболее распространенными шлиховыми минералами — «спутниками» касситерита — служат вольфрамит, шеелит, турмалин, магнетит, флюорит, лейкоксен, сульфиды. Вместе с тем касситерит, так же как и золото (и в отличие от алмаза), не имеет в рудопоявлениях и в шлихах постоянных минералов-спутников. Если с золотом часто, но далеко не всегда, ассоциируются пирит, арсенопирит, пирротин, то вместе с касситеритом часто встречаются вольфрамит, шеелит, турмалин.

Единичные зерна касситерита можно встречать в бассейнах рек и ручьев, в пределах которых нет месторождений или крупных рудопоявлений касситерита. Так как касситерит является аксессуарным минералом в некоторых разновидностях гранитоидов, эти зерна могут быть и не из рудопоявлений. Поэтому находки зерен касситерита в шлихах не свидетельствуют о наличии в непосредственной близости оловоносной россыпи или коренных месторождений олова.

Таким образом, данные о геологическом строении некоторого района могут свидетельствовать об отсутствии в его пределах россыпей касситерита. Многие территории, хотя их геологическое строение и допускает возможность наличия коренных источников касситерита, оказываются не оловоносными.

Высвобождение касситерита, его перенос, сепарация, накопление и перетолжение; размыв россыпей касситерита. Формирование россыпей олова во многом зависит от того, насколько зерна касситерита, поступающие в сферу деятельности потока, окажутся высвобожденными, т. е. отделенными от вмещающей породы. Изначально кристаллы касситерита (больше 1 мм) относительно слабо сцеплены с вмещающей породой и при изготовлении протоочки — механическом дроблении породы — они без дополнительных воздействий оказываются отделенными от других минералов. Высвобождение касситерита в ходе формирования элювия, и особенно склоновых образований, осуществ-

ляется с большой полнотой. Правда, в некоторых месторождениях кварц-турмалинового и кварц-хлоритового состава все же сохраняются сростки, попадающие затем в водный поток. По сравнению с золотом перенос зерен касситерита «в куске породы» осуществляется в еще меньшей мере. Поэтому появление крупных частиц касситерита в нижней части россыпи всегда объясняется наличием дополнительных коренных источников.

Перенос касситерита в прикрепленном состоянии по сравнению с золотом также ограничен. Зерна касситерита редко имеют форму тонких пластинок. Перенос касситерита происходит почти исключительно в свободном состоянии. Высокий удельный вес касситерита, значительные размеры его частиц в рудопроявлениях (часто больше 1—5 мм), механическая прочность и устойчивость к химическому выветриванию создают необходимые предпосылки для того, чтобы касситерит лишь очень постепенно уничтожался в ходе переноса.

Связь россыпей олова с коренными источниками. В отличие от золота связь россыпей касситерита с коренными источниками по большей части обнаруживается довольно легко, хотя, казалось бы, более легкий касситерит должен отлагаться на большом расстоянии от них. Однако описано немало случаев, когда россыпь олова налицо, а ко-

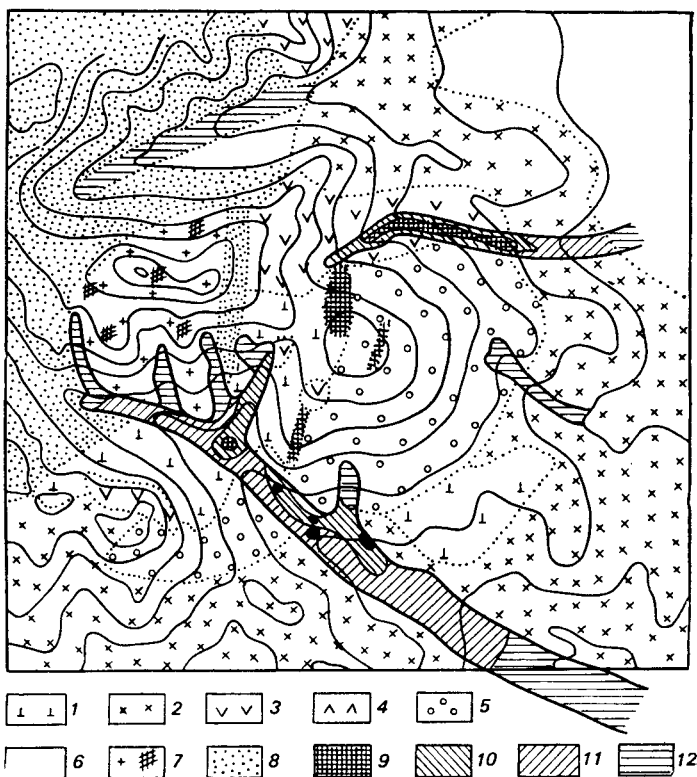


Рис. 11.2. Схема распределения касситерита в типичной оловоносной россыпи (по Косову и Остроменцкому): 1 — фельзит-порфир; 2 — сиенит-порфир; 3 — диорит; 4 — кварц-порфир; 5 — аллювий; 6 — аллювий; 7 — гранит с оловоносными грейзенами; 8 — роговики; 9—12 — содержание олова: 9 — выше среднего, 10 — среднее, 11 — ниже среднего, 12 — знаки

ренной источник обнаружить не удается. Таковы, например, россыпи в Восточном Забайкалье, где коренные источники россыпей не всегда восстановлены; возможно, они уничтожены. При поисках коренных месторождений олова с помощью прослеживания россыпей приходится использовать обычные приемы — изучение окатанности зерен, изменение granulometрии касситерита вдоль по россыпи, изменение вертикальных запасов и содержаний полезного компонента в россыпи. В сложных случаях для оценки распределения минерала и его окатанности целесообразно применять статистические методы. Особенно хорошо прослеживается связь между рудопроявлениями и россыпями в тех случаях, когда коренные источники крупные или много близрасположенных небольших рудопроявлений (рис. 11.2).

Затруднен поиск коренного источника при многостадийном образовании россыпи, т. е. в случае, когда касситерит первоначально был сконцентрирован в пролювиальных или дельтовых отложениях. В случае, если зерна касситерита имеют небольшие размеры (доли миллиметра в поперечнике), коренной источник может располагаться на большом удалении. В долинах горных рек с их большими скоростями течения мелкий касситерит отличается высокой подвижностью и постепенно выносится на прилегающие равнины, где формируются аллювиальные россыпи.

Строение аллювиальных россыпей касситерита. Во многих оловянных долинах третьего порядка и выше по данным буровых скважин и шурфов констатируют касситерит на нескольких уровнях: на пойме, в древних врезах, а также и на сохранившихся участках надпойменных террас. Это распределение запасов и содержаний касситерита по разновозрастным аллювиальным толщам в деталях разнообразно и зависит от истории формирования долины.

По большей части главные запасы сосредоточены в пойме. В толще формирующегося аллювия касситерит приурочен к базальной фации, отчасти к русловой. Некоторая часть его вымыта в плотик. В отличие от золота распределение касситерита по вертикали оказывается более равномерным, здесь могут быть отмечены следующие четыре момента.

1. Меньше колебания содержаний от проходки к проходке в пределах пласта, немногочисленные «пустые» пробы.

2. Резкий пик содержания на спале наблюдается заметно реже, чем в россыпях золота.

3. Для россыпей золота отношение мощностей песков и торфов меньше, чем 1:3, для россыпей касситерита это соотношение обычно ближе 1:2.

4. Мелкий касситерит в виде редких знаков чаще, нежели золото, отмечается в проходках, взятых из торфов.

Перечисленные особенности строения относятся к однопластовым россыпям. В долинах малых водотоков (первого-второго порядка) менее резко выражено увеличение концентрации касситерита от верхних частей разреза к нижним, как это констатируется и для золота.

В распределении касситерита в россыпи по поперечному разрезу долины нет существенной разницы по сравнению с золотыми россыпями (рис. 11.3). Может быть отмечено только следующее: 1) большей частью наблюдается одна или две струи с повышенными концентрациями касситерита; 2) промышленные содержания часто смещены к одному из бортов долины; 3) при характеристике россыпей олова редко по сравнению с россыпями золота отмечается гнездовой характер россыпей.

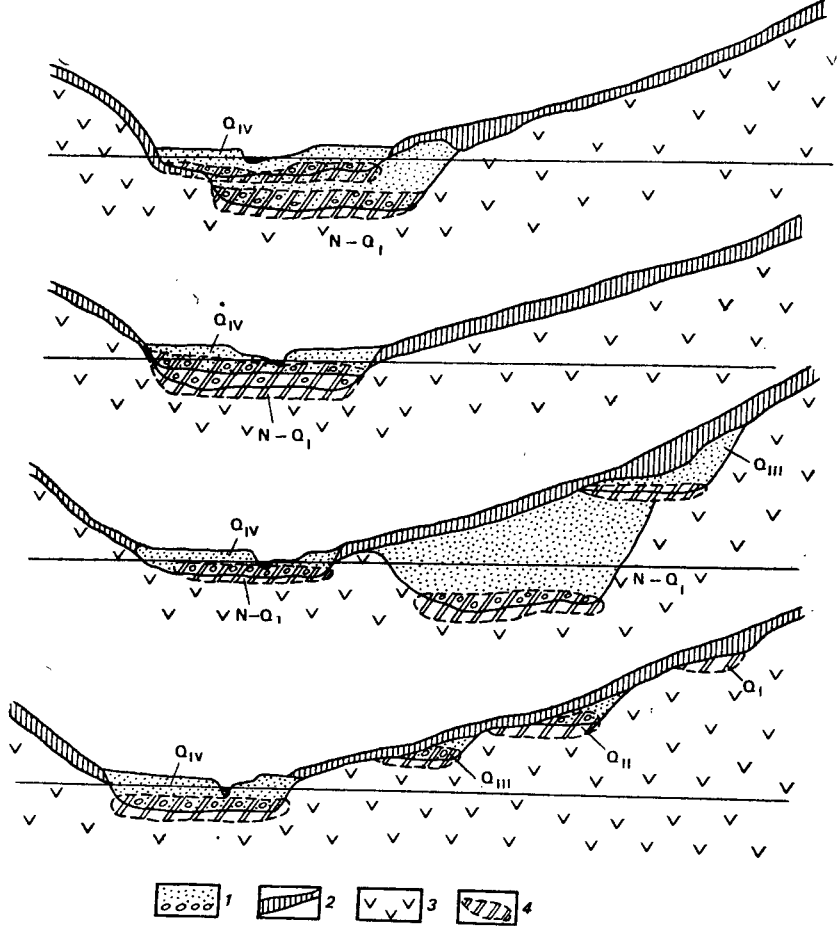


Рис. 11.3. Схематизированные поперечные сечения оловоносных долин:
 1 — аллювий; 2 — склоновые образования; 3 — коренные породы;
 4 — оловоносные отложения

Рассмотрим распределение касситерита вдоль по долине. Крупный касситерит, зерна которого в среднем 10—4 мм, образует в условиях низкогорного рельефа автохтонные россыпи, расположенные непосредственно близ коренного источника. Степень их вытянутости зависит от соотношения количества крупности частиц со скоростями течения водного потока при долиноформирующих расходах (т. е. скоростях, наблюдаемых при мощных, редко повторяющихся паводках). Растянutosть россыпи вдоль по долине зависит также от длительности формирования россыпи. Крупные частицы касситерита почти не перемещаются вниз по долине, даже при многократном переотложении с одного уровня на другой. За миллионы лет развития долины они в состоянии сместиться только на немногие сотни метров. Зерна размером от 1—2 до 0,3—0,4 мм в условиях низкогорья за геологически длительное время могут переместиться на километры.

Более тонкий касситерит в геологическом масштабе времени переносится довольно быстро и может дать начало автохтонным россыпям только при наличии весьма крупных коренных источников. Часто россыпи имеют относительно большую протяженность. Распределение со-

держаний и линейных запасов в них в принципе изменяется довольно медленно. Содержания и запасы непрерывно изменяются, на протяжении 200—400 м они могут увеличиваться и уменьшаться в 2—4 раза. Отчетливо выделяются участки протяженностью в несколько сотен метров, на которых запасы и содержания увеличиваются в 8—10 раз. Изменение запасов и содержаний идет в общих чертах параллельно.

Крупность аллювия, продольные уклоны дна долин и изменения скоростей течения водного потока, а следовательно, и условия переноса обломков на необогащенных и обогащенных участках не отличаются. Это можно объяснить по-разному. Возможно, неравномерность кажущаяся, обусловленная расположением разведочных линий.

Не исключено, что наличие «пиков» и «спадов» с колебаниями в 2—4 раза связано с тем, что россыпь вытянута вдоль коренного источника, в котором касситерит распределен неравномерно, поэтому неодинаково количество минерала, поступающего в россыпь. При этом необходимо допустить, что частицы касситерита крайне слабо перемещаются вдоль по долине.

Некоторые исследователи полагают, что в пределах долины есть «благоприятные» и «неблагоприятные» участки, определяемые различиями в гидравлических характеристиках потока. Однако последние должны бы были отражаться и на составе и строении аллювия, чего не наблюдается. Характеристики вмещающего аллювия не испытывают изменений при изменении линейных запасов полезного компонента.

Вдоль по долине изменяется размер и окатанность зерен касситерита. Но четкое уменьшение среднего размера зерен к нижнему концу россыпи констатировать не всегда удается. Поблизости от крупного коренного источника часто располагаются источники поменьше, и в россыпи ниже по течению от главного источника поступают все новые порции зерен минерала, в том числе и крупных размеров. Примешиваются и крупные зерна акцессорного касситерита из горных пород, вмещающих коренные рудопроявления. Разубоживание россыпи за счет привноса «пустого» материала из притоков и со склонов происходит параллельно и даже быстрее, чем уменьшение крупности зерен.

Использование геоморфологических критериев при поисках аллювиальных россыпей олова. Из геоморфологических критериев обязательное условие, но, к сожалению, слишком общее — наличие низкогорного типа рельефа. Уменьшается возможность рассчитывать благоприятные результаты, если рельеф сопочный или среднегорный. При проведении изысканий геоморфологу надлежит воспользоваться следующими критериями.

1. Геоморфологические закономерности денудации морфоструктур, содержащих в своем ядре гранитные батолиты, в общих чертах известны. Поэтому бесперспективно вести поиски дальше 5—8 км от экзоконтакта предположительно оловоносной гранитной интрузии. Ближе к экзоконтакту находится большинство оловорудных проявлений. При пологом падении поверхности контакта интрузива со вмещающими породами полоса поисков должна расширяться. Аналогичные приконтактовые зоны с оптимальным (для вскрытия оруденения) денудационным срезом могут располагаться и над апикальными частями не вскрытых эрозией рудоносных интрузий.

2. Выбирая речные долины для постановки поисков и разведки, следует иметь в виду, что в низкогорье наиболее перспективны глубокие и вместе с тем достаточно широкие долины водотоков третьего-четвертого порядка, т. е. долины с максимальными (для данного размера водотоков) поперечными сечениями.

3. Первоочередному обследованию подлежат долины, лежащие рядом с долинами, в которых россыпи уже были выявлены.

4. Особенно большое значение имеет выявление древних врезов, которые могут быть скрыты под террасовалами или поймой. По большей части аллювий ранних фаз врезания долинной сети переотложен на низкие террасы и поймы. Но местами он уцелел от размыва. Поэтому особенно важно выявление тех участков древних врезов, которые сохранились от последующего размыва.

5. На подгорных равнинах возникают и аллохтонные россыпи, которые могут частично «затягиваться» в горы, в расширенные части долин, могут располагаться в пределах равнин на некотором расстоянии от гор.

ОСОБЕННОСТИ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ АЛМАЗОВ

Особенности геоморфологического строения районов распространения алмазных россыпей. Несмотря на то что в настоящее время организовано производство искусственных алмазов, интерес к поискам естественных алмазов продолжает сохраняться. За рубежом алмазные россыпи разрабатывались в Индии, Бразилии, Австралии. В настоящее время добыча в этих странах незначительна. Основная масса алмазов добывается в Африке. В основном разрабатываются россыпи, но немало добывается и из кимберлитовых трубок.

Россыпи алмазов приурочены к возвышенным равнинам и плоскогорьям со средними абсолютными высотами 300—700 м, а часто более 1000 м. В настоящее время это денудационные равнины.

Таким рельефом обладает Среднесибирское плоскогорье, южная часть Африки (включая территории ЮАР, Анголы и Заира), плоскогорья Бразильское и Декан. Весьма незначительное количество россыпей и коренных месторождений алмазов приурочено к территориям с горным рельефом. Это о. Калимантан и Восточно-Африканская рифтовая зона. В горах добыто около 0,1% общего количества алмазов. История развития рельефа Якутии — длительность денудации — обеспечила здесь и вскрытие коренных источников, и образование промежуточных коллекторов: юрских конгломератов и междуречных галечников.

В условиях горного рельефа алмазы из коренных источников очень быстро выносятся с территории, где вмещающие их породы выведены в сферу денудации; в условиях плоскогорного рельефа скорости течения рек обеспечивают относительно замедленный снос кристаллов алмазов и в то же время достаточно быстрый вынос «пустой породы». Аллохтонные россыпи встречаются в условиях равнинного рельефа. Так, на побережье Южной Африки известны промышленные морские россыпи алмазов. Таким образом, рельеф алмазоносных районов — возвышенные денудационные равнины с многочисленными остатками древней долинной сети, иногда морских конгломератов.

Особенности геологического строения районов распространения россыпей алмазов. Районы, где разрабатываются алмазные россыпи, находятся в пределах древних платформ. Однако прежде всего алмазоносны платформы, пережившие после консолидации своего фундамента длительную эпоху магматизма. Таковы Сибирская, Южно-Африканская, Бразильская и Индийская платформы, для которых весьма характерно участие в их строении мощных пластовых интрузий (силлов) диабазов и долеритов, прославивших осадочные отложения.

платформенного чехла. Наряду с силлами здесь наблюдаются и секущие интрузии (дайки), дающие в рельефе гряды. В основных породах дайкового комплекса отмечены единичные находки алмазов. На платформах этого типа магматическая деятельность дала начало также и вулканогенным образованиям: лавам, туфам, туфобрекчиям, туфоконгломератам.

Другие древние платформы (Восточно-Европейская, Северо-Американская) почти лишены следов основного магматизма после консолидации фундамента. Здесь также найдены алмазы в древних промежуточных коллекторах и аллювиальных россыпях. В общем алмазоносность этих платформ на порядок ниже, чем платформ первого типа.

На платформах типа Сибирской или Южно-Африканской основная масса алмазов связана с кимберлитами, выполняющими трубки взрыва. Кимберлит — щелочная ультраосновная горная порода, имеющая порфирировидную структуру, иногда структуру брекчии, и содержащая многочисленные ксенолиты. Последние могут быть разделены на две группы: глубинного (мантийного) происхождения, представленные породами мантии, и пород корового вещества, в том числе породами чехла платформы.

Сложен и минералогический состав порфировых вкрапленников. Здесь выделяются минералы мантийные, по термодинамическим условиям формирования близкие к алмазам, и минералы, не связанные с алмазами термодинамической и геохимической обстановкой кристаллизации. К минералам первой группы относятся оливин, гранат (в том числе пироп) и клинопироксен; ко второй — ильменит, некоторые разновидности хромшпинелидов.

Образование кимберлитов распадается на несколько этапов. Однако об их последовательности, количестве и характере продолжают горячие споры, в которые вряд ли следует вступать геоморфологам. Мы можем принять пока, что кимберлит — это гибридная порода, vznikшая при захвате ультраосновной мантийной магмой вещества земной коры. Несомненно, что процессы в верхней мантии в пределах платформ оказывались сходными в разных частях Земли.

Несмотря на огромные расстояния, отделяющие южноафриканские трубки, заполненные кимберлитом, от трубок Сибирской платформы, их строение, размеры и форма обнаруживают большое сходство, которое говорит об идентичности причин их образования. К тому же и те и другие приурочены к платформенной структуре и платформенному чехлу специфического типа. Для районов развития трубок характерны силлы, покровы, дайки и лакколитоподобные тела основных пород, мощные серии континентальных туфопесчаников — туфоконгломератов, туфобрекчий.

Почти все трубки Южной Африки приурочены к свите (серии) карру (Т—J). Имеются и трубки взрыва мелового возраста. Совместно с алмазами в Африке отмечаются платина и осмистый иридий. На о. Калимантан, где россыпи известны уже сотни лет, в Западной Африке и Австралии далеко не всегда удается установить коренные источники алмазов. В этих районах в современные долины алмаз поступает из промежуточного коллектора — миоценового (позднемелового?) аллювия, выполняющего древние долинные понижения. Древняя, уже отмершая долинная сеть расчленяет здесь высокую денудационную поверхность — гондванскую (триасовую). В расположении трубок взрыва четких закономерностей не установлено. Трубки отмечены на различных структурных элементах платформ.

Из множества трубок лишь немногие промышленно алмазоносны.

В большинстве трубок алмазов мало, как и минералов — спутников алмазов. Для трубок, содержащих большое количество алмазов, в кимберлитах отмечается повышенное содержание хромистых минералов. Однако четкого различия в минералогическом составе кимберлитов в трубках, богатых и бедных алмазами, не установлено.

Факты, собранные к настоящему времени, показывают, что образование трубок взрыва может происходить преимущественно на платформе определенного типа, для которых существенны следующие моменты: 1) докембрийский фундамент; 2) резкая активизация магматической деятельности через несколько сот миллионов лет после консолидации фундамента; 3) относительно малая плотность верхней мантии, по крайней мере в самых верхних горизонтах.

Высвобождение, перенос, сепарация, концентрация алмазов. Промежуточные коллекторы алмазных россыпей. Свойства алмазов обеспечивают его достаточно полное высвобождение из вмещающих пород. Во всяком случае это относится к кристаллам алмаза размером более 0,2 мм, т. е. могущим давать начало россыпям. В ходе химического выветривания при превращении почти всех вмещающих (породообразующих) минералов в массу глинистых минералов алмаз не подвергается химическим изменениям. Высвобождение алмаза из кимберлита при его выветривании оказывается практически полным. Выветривание кимберлитов в ходе смещения чехла обломков по склону (при дефлюкции, медленной солифлюкции или конгелифлюкции) сопровождается некоторым истиранием и разламыванием кристаллов. В еще большей мере из-за хрупкости разрушаются алмазы при переносе в водном потоке. Вряд ли можно рассчитывать на сохранение кристаллов алмаза в быстрых горных потоках среднегорий и высокогорий.

На реках денудационных равнин и плато алмазы могут переноситься на многие десятки километров. Известно, например, что в долине р. Оранжевой алмазы отмечаются на протяжении свыше 500 км. Не исключено, что на этом расстоянии имеется несколько коренных источников. Однако и тогда очевиден перенос на сотни километров. В Западной Африке, главным образом в Гвинее и Сьерра-Леоне, констатируется вытянутость россыпных месторождений вдоль долин рек на десятки километров. Все это свидетельствует о высокой «подвижности» алмаза. Небольшое отличие алмаза по удельному весу от основной массы образующих аллювий обломков — неблагоприятное обстоятельство для концентрации алмазов. Такие широко распространенные минералы тяжелой фракции, как ильменит, гранат, циркон, обычно составляющие 50—80% тяжелой фракции аллювия, имеют даже несколько больший удельный вес (4,0—4,5), чем алмаз (3,55). Следовательно, сепарация алмаза от этих минералов из-за разности в удельном весе происходить не может.

Грани алмаза не смачиваются водой, это обстоятельство уменьшает возможность переноса алмаза, делая его как бы несколько тяжелее. При несмачиваемости граней для перемещения частицы требуется несколько большее сдвигающее усилие по сравнению с частицей со смачиваемыми гранями. Возможно, именно несмачиваемость обеспечивает относительно хорошую сепарацию алмаза, приуроченность алмазных зерен к придонному слою водного потока. Несмачиваемость граней препятствует прилипанию алмазных зерен к крупным обломкам. Поэтому уменьшается возможность переноса алмазов в прикрепленном состоянии. Быстрое высвобождение алмаза из породы ограничивает перенос алмазов в куске вмещающей породы.

Связь россыпей алмазов с коренными источниками. Исключитель-

но малая (наименьшая среди всех россыпей минералов) доля алмаза в общей массе россыпей уже заранее предполагает предпологать, что прослеживание путей сноса и определение коренных источников весьма непросто. В Южной и Восточной Африке и в Якутии многие коренные источники были найдены путем прослеживания распространения алмазов и его спутников в аллювии. В Индии, на о. Калимантан, в Бразилии и особенно в Заире и Анголе коренные источники для многих россыпей так и не были установлены.

Установлена связь находок алмазов, а в ряде случаев и алмазных россыпей с древними промежуточными коллекторами. Так, для россыпей бассейна р. Касаи, крупного левого притока Конго, очевидна пространственная связь с местами, где реки прорезают галечники свиты лубилаш, имеющей неогеновый возраст. В Гане часть алмазных россыпей сформирована за счет размыва докембрийских конгломератов. Промежуточным коллектором для алмаза послужили и золотоносные конгломераты Витватерсранда.

При поисках алмазов, в отличие от других россыпных минералов (золота, олова, пьезокварца, титансодержащих), большое значение имеет изучение распределения в аллювии минералов-спутников (рис. 11.4). К спутникам алмаза относится прежде всего пироп, а также

пикроильменит, хромшпинелиды. Внимание к спутникам алмаза обусловлено тем, что алмаз крайне редок и благодаря своей бесцветности при полевом опробовании обнаруживается с трудом. Между тем обнаружить спутники несравнимо легче, так как их больше, а диагностика их в шлихах по внешним признакам не сложна. Присутствие на поверхности зерен пироба келифитовой каймы и лейкоксеновой оторочки на пиробе и пикроильмените указывает на дальность переноса. Степень выраженности на поверхности пироба следов растворения (кавернозность, пустоты, занозистая поверхность и т. п.) позволяет оценивать расстояния, на которые пиробы перемещены. О дальности переноса позволяет судить и соотношение в шлихах различных спутников алмаза.

Некоторые авторы утверждают, что кроме информации об относительной удаленности от коренного источника по минералам-спутникам можно оценивать потенциальную алмазоносность кимберлитовых тел. Повышенное содержание в аллювии пироба и шпинелидов свидетельствует о размыве и близости богатого алмазами кимберлитового тела.

Строение аллювиальных россыпей алмазов. Строение алмазных россыпей изучено много хуже, чем золото- или оловоносных. Это связано с малыми содержаниями алмазов в аллювии. Имеющиеся данные позволяют утверждать, что распределение алмаза в аллювии более неравномерно, чем золота или касситерита. Следовательно, опробование небольших объемов не эффективно.

В африканских россыпях, которые рассматриваются как промышленные, среднее содержание алмазов на пласт составляло 0,5—1,0 карата, т. е. 100—200 мг/м³. Обычно обогащенные слои как в террасовом аллювии, так и в современном приурочены к приплотиковым частям разреза. В галечниках междуречий, подвергшихся длительному вывет-

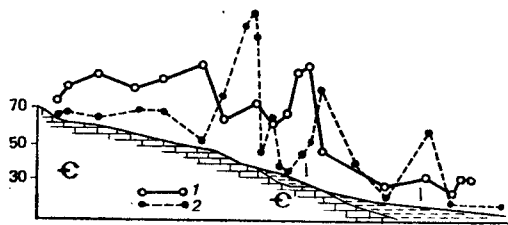


Рис. 11.4. Изменение содержаний алмаза (1) и пироба (2) по продольному профилю реки (по Б. И. Прокопчуку)

риванию — элювии галечников, — повышенные концентрации наблюдаются в приповерхностных слоях.

При средних содержаниях 0,5—1,0 карата на 1 м³ аллювия наблюдались резко повышенные содержания в углублениях плотика. Изредка наблюдаются содержания 100 карат на 1 м³, а в отдельных случаях отмечены содержания до 1000 карат на 1 м³. Повышенные содержания постоянно отклоняются от среднего в 100—1000 раз, а иногда и более. В Трансваале в россыпях с плотиком, образованным карстующимися карбонатными породами, особо резкое увеличение содержания отмечалось при обработке аллювия, заполняющего карстовые углубления в ложе долины. Если в 1 м³ породы из карстовых углублений содержания выше средних в 100—200 раз, то в 100—200 м³ породы, залегающей по соседству, содержание нулевое. Это говорит о крайне неравномерном распределении алмазов по толще аллювия. Не всегда констатируется приуроченность алмаза к нижним приплотиковым слоям аллювия. Иногда в пойменной фации аллювия содержания алмазов несколько выше, чем в русловой и приплотиковой.

Отмечается достаточно четкая закономерность в распределении алмазов по вертикали: чем больше мощность аллювия, тем ниже содержания. При большой мощности аллювия и «растянутости» продуктивного горизонта концентрации возрастают в приплотиковой части аллювия. При этом в сильно глинистом аллювии разница в содержаниях несколько сглаживается. В плане распределение содержаний так же неравномерное. Обычно фиксируются обогащенные «струи» — участки, вытянутые полосами вдоль по течению реки, по ширине обычно соответствующие ширине русла. Самые крупные алмазы приурочены к пристречневым частям и малым мощностям аллювия.

Отмечаются несколько повышенные содержания в аллювии поймы и низких террас по сравнению с высокими террасами, что заставляет предполагать или все более интенсивный размыв промежуточных коллекторов, или же вскрытие денудацией наиболее богатых алмазами частей трубок. В пределах современных русловых форм распределение алмазов также весьма изменчиво. Наиболее богаты алмазами верхние части кос и приверхи островов. При поисках алмазов при опробовании кос важно учесть их морфологию. Наиболее благоприятны участки сочленения антиклинальных и синклинальных структур — здесь образуются в основном россыпи «дальнего сноса». Ряд россыпей, расположенных в этих местах, обладает крупными запасами и высокими содержаниями. Следует отдать предпочтение долинам «средних» рек с площадью бассейна 2000—5000 км².

Использование геоморфологических данных при поисках и разведке аллювиальных россыпей алмазов. Надлежит помнить, что для россыпей алмазов в бассейне р. Касаи коренные источники установлены лишь «предположительно», но во многих местах, где геологическое строение благоприятно (известны интрузии основных и ультраосновных пород, установлены трубки взрыва), россыпей алмазов нет.

Геоморфологический анализ должен дать ответ на вопрос о степени вскрытости коренных источников — каков денудационный срез заполненных кимберлитом трубок взрыва: недостаточный, оптимальный или чрезмерный. Выяснение величины денудационного среза по исследуемой площади дает основание неодинаково оценивать перспективность разных ее частей.

Россыпи алмазов по большей части формировались за счет размыва промежуточных коллекторов различного генезиса, т. е. за счет вторного (и многократного) перебива — обогащения или разубожива-

ния. Поэтому выявление возможных промежуточных коллекторов, прежде всего древнего аллювия, первоочередная задача. Отсюда пристальное внимание к древним, особенно рыхлым, отложениям, выяснению истории их формирования, сохранения и последующего разрушения.

Глава 12

ОСОБЕННОСТИ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ И ДЕЛЬТОВЫХ РОССЫПЕЙ ИЛЬМЕНИТА, РУТИЛА, ЛЕЙКОКСЕНА И ЦИРКОНА

Предпосылки для формирования титано-циркониевых россыпей
Особенности рельефа территорий, где наблюдаются титано-циркониевые россыпи
Геологическое строение районов титано-циркониевых россыпей
Высвобождение, перенос, концентрация
Строение аллювиальных россыпей ильменита, рутила, лейкоксена и циркона

ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТИТАНО-ЦИРКОНИЕВЫХ РОССЫПЕЙ

Титан и цирконий распространены относительно широко. Титан входит в состав 10 элементов, которые образуют земную кору. Титан используется как добавка в жаропрочные стали. Высоким качеством отличаются титановые краски. Основные минералы, содержащие титан, — ильменит, рутил и лейкоксен. Главный минерал, содержащий цирконий, — циркон. Для многих стран требуются тысячи тонн минералов, содержащих эти элементы. Энергичные мероприятия по разработке теоретических основ поисков титановых россыпей создали хорошую основу для поисков и разведки. В результате промышленность некоторых стран обеспечивается титаном из россыпей.

Добываемый из россыпей ильменит (FeTiO_2) имеет средний удельный вес 4,7 (от 4,56 до 5,21), высокую твердость и механическую прочность, устойчивость в отношении агентов химического выветривания. Форма зерен его таблитчатая.

Рутил (TiO_2) благодаря высокому содержанию титана (60%) — наиболее ценный минерал в качестве сырья для его извлечения. Удельный вес 4,2—4,3. Однако его содержание в россыпях, а тем более в коренных породах, значительно ниже, чем ильменита. На Тимане и юге Западной Сибири известны россыпи лейкоксена, имеющего удельный вес 4,0—4,2, несколько меньшую прочность, чем у рутила и ильменита, но такую же высокую устойчивость в отношении химического выветривания.

Из минералов, содержащих цирконий, интерес для промышленности представляет только циркон (ZrSiO_4), имеющий несколько модификаций. Удельный вес у него такой же, как и у титансодержащих минералов — 4,0—5,1. Циркон отличается твердостью и механической прочностью, весьма высокой устойчивостью к химическому выветриванию. Титансодержащие минералы и циркон нередко образуют комплексные россыпи.

Так же как и для золота, платины или олова, образование титановых и циркониевых россыпей требует обогащения — выноса легких минералов. Во многих случаях в горной породе, служащей коренным источником титано-циркониевой россыпи, могут содержаться и другие

минералы, близкие по удельному весу и размеру зерен. Они создают нежелательную примесь. Например, содержания ильменита и объемы горной массы в аллювии многих рек Среднесибирского плоскогорья удовлетворяют требованиям, которые предъявляет промышленность к титановым россыпям, но, к сожалению, в тяжелой фракции здесь наряду с ильменитом содержится столько же магнетита. Поэтому для образования титановых, циркониевых или комплексных россыпей необходимо удаление не только более легких минералов, но и минералов близкого удельного веса. Это происходит в тех случаях, когда коренными источниками служат не «свежие» горные породы, а испытывшие глубокое химическое воздействие.

Особенно должно быть отмечено то замечательное явление, что, несмотря на предельно четкие различия коренных источников, титан и циркон образуют «комплексные» россыпи. После сложной истории преобразования продуктов разрушения разных по составу магматических тел титановые и циркониевые минералы, близкие по своей реакции на воздействия в зоне гипергенеза, оказываются в одном осадке.

ОСОБЕННОСТИ РЕЛЬЕФА ТЕРРИТОРИЙ, ГДЕ НАБЛЮДАЮТСЯ ТИТАНО-ЦИРКОНИЕВЫЕ РОССЫПИ

Районы, где в настоящее время находятся россыпи титана и циркона, обладают равнинным рельефом. Это возвышенные равнины, такие как Украинская, или же низменные равнины, например юг Западно-Сибирской равнины. Во время образования россыпей рельеф этих территорий также был равнинным. Это были дельтовые и шельфовые равнины или же широкие долины рек в прибрежной полосе. Реки территорий, где происходил размыв коренных источников или через ко-

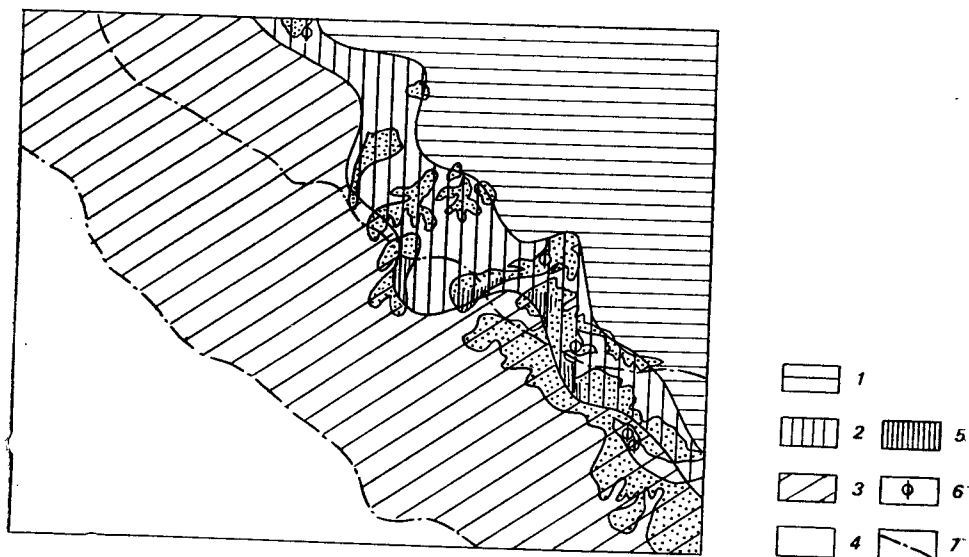


Рис. 12.1. Схематическая палеогеоморфологическая карта Днепровско-Донецкой впадины в позднем олигоцене (по И. С. Романову, 1977): 1 — возвышенная равнина; 2 — прибрежно-морская пологонаклонная равнина; 3 — мелководная морская равнина; 4 — участки, где сохранились морские отложения среднего горизонта полтавской серни; 5 — участки повышенной концентрации тяжелых минералов; 6 — находки морской фауны; 7 — граница Днепровского грабена

торые транспортировались продукты размыва, были типичными реками равнин, в русловой фации которых преобладали пески и лишь изредка — мелкий гравий (рис. 12.1).

В магматических породах зерна этих минералов имеют близкую величину (0,3—0,2 мм) (рис. 12.2). Из зерен этого размера в основном и формируются россыпи. Источником формирования титано-циркониевых комплексных россыпей служат коры выветривания, которые сформировались за миллионы лет в условиях пологосклонного равнинного рельефа. Поэтому среди факторов, определяющих возможность формирования россыпей, важно устойчивое положение элементов рельефа, в пределах которых происходит образование россыпи (дельты,

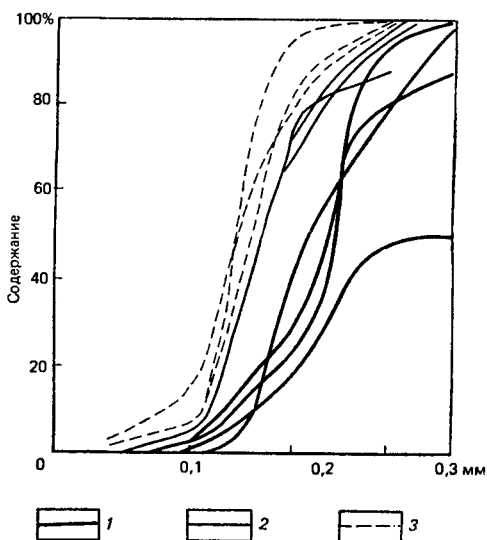


Рис. 12.2. Кумулятивные кривые гранулометрического состава зерен полезных минералов комплексных морских россыпей Бразилии (по Д. Гиллсону):

1 — ильменит; 2 — циркон (плотность 4,7 г/см³); 3 — монацит (плотность 5,2 г/см³)

пляж, днище долин). Если, например, в дельте происходят быстрое накопление осадков и ее рост, естественно, высоких концентраций получить не может. Если же вдольбереговым потоком наносов тонкий и легкий материал удаляется в темпе его поступления, то на месте остается «естественный шлик», т. е. происходит формирование осадка, обогащенного тяжелыми минералами.

Россыпи ильменита и циркона приурочены к продуктивным формациям, отличающимся определенным комплексом горных пород. Приуроченность к определенным формациям — характерная черта титановых и циркониевых россыпей.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНОВ ТИТАНО-ЦИРКОНИЕВЫХ РОССЫПЕЙ

Коренными источниками для формирования россыпей титановых минералов служат пироксениты, дуниты, а также кристаллические сланцы, включающие значительное количество минералов, свойственных породам основного и ультраосновного состава. Среди этих пород не все одинаковы по содержанию ильменита, и коренными источниками являются лишь горные породы с его повышенным содержанием.

Циркон — аксессуарный минерал гранитов, гранито-гнейсов, щелочных гранитов. Очень редко он породообразующий минерал пегматитовых жил, сиенитов и нефелиновых сиенитов.

Ильменит и циркон — глобально распространенные минералы. В шлихах, отмытых из аллювия в любой части суши, почти всегда можно наблюдать зерна ильменита, а часто и циркона. Это обстоятельство никак не говорит ни о наличии поблизости россыпей этих минералов, ни о существовании в бассейне коренных пород, которые могли бы послужить коренными источниками для россыпей.

В отдельных случаях промышленный интерес представляют небольшие, но с высокими содержаниями россыпи элювиального, делювиального или аллювиального генезиса. Они обычно территориально тесно связаны с выходами коренных источников.

На северо-западе Украинского кристаллического щита коренные источники титана связаны с породами Коростеньского плутона (Цымбал и др., 1977). Площадь плутона — 2500 км². Здесь наиболее распространены анортозиты, габбро-нориты и габбро-монциты. Анортозиты и лабрадориты содержат мало TiO₂, габбро-анортозиты — больше TiO₂ и в оливиновых габбро-норитах, оливиновых пироксенитах и полевошпатовых перидотитах — высокие содержания титановых минералов. Основная масса ильменита поступала из габбро-норито-анортозитовых пород. Кора выветривания на оливиновых габбро и перидотитах сама по себе представляет элювиальную россыпь.

В центральной части Украинского щита, по данным Ю. В. Кононова (1966), коренные источники приурочены к Корсунь-Новомиргородскому плутону. Он образован, в частности, рядом массивов анортозитов, габбро-норитов и полевошпатовыми ультраосновными породами. Наиболее высокие содержания TiO₂ в дайках и шпихрах ультраосновных пород, среди поля габбро-норитов. Они занимают 10% площади и содержат много TiO₂. В анортозитах же содержание ниже, но благодаря большой площади они главный источник питания россыпей.

Для россыпей титана и циркона характерна их приуроченность к платформенным структурам и к определенным формациям в их пределах. Г. С. Момджи (1960) по условиям размыва коренных источников и обогащенных титановыми минералами отложений выделяет три типа продуктивных формаций (рис. 12.3). В условиях устойчивых восходящих

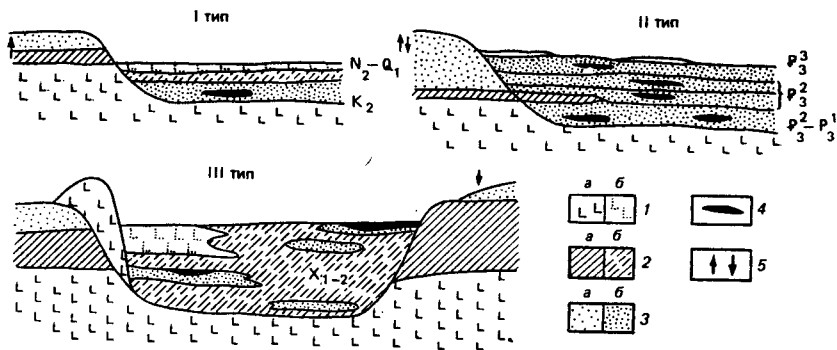


Рис. 12.3. Схематические разрезы продуктивных формаций:
 1 — коренные породы (а) и их продукты размыва и перетотложения (б);
 2 — гидрослюдистая зона коры выветривания (а) и ее продукты размыва и перетотложения (б); 3 — каолинитовая зона коры выветривания (а) и ее продукты размыва и перетотложения (б); 4 — комплексные россыпи; 5 — направления тектонических движений

движений крупных платформенных блоков из области размыва в область аккумуляции первоначально сносятся верхние горизонты кор выветривания. Осадки, накапливающиеся в области аккумуляции, отличаются преобладанием минералов с максимальным коэффициентом устойчивости в отношении выветривания. По мере срезания горизонтов

коры выветривания денудации подвергаются все более низкие ее горизонты. Вверх по разрезу средние значения коэффициента устойчивости постепенно снижаются. Это первый тип продуктивных формаций.

Ко второму типу продуктивных формаций относятся отложения, формирующиеся при изменении знака движения — при смене накопления осадков в области седиментации размывом. В этом случае на размытую поверхность продуктивных слоев ложатся осадки, в которых преобладают минералы с низкими значениями коэффициентов устойчивости. Наконец, к третьему типу продуктивных формаций относятся осадки с незакономерным распределением осадков с различными средними коэффициентами устойчивости образующих их минералов.

Рационально разделение на первичные и вторичные продуктивные формации. Первичные характерны для предгорных и внутригорных прогибов, а также для платформ (со сносом с возвышенностей во впадины), а вторичные — для низменных платформенных равнин. Здесь в течение длительного времени поднятия сменялись опусканиями. Ранее отложенные толщи, в том числе и продуктивные, подвергались многократному перемыву и сортировке. Комплексные титано-циркониевые россыпи особенно характерны для вторичных продуктивных формаций.

Рассматривая вопрос о коренных источниках, следует упомянуть о делении их на «локальные» и «региональные». Это деление предлагает М. Ф. Веклич (1976) и Г. С. Момджи (1964). Локальные (местные) коренные источники и локальные россыпи — это в основном россыпи золота и платины. Региональные россыпи — это россыпи титана, циркона, редкоземельных минералов. Это деление относительно. Для разделения на локальные и региональные остается лишь одно основание — связь с корами выветривания. Но здесь дело не в территориальной ограниченности.

ВЫСВОБОЖДЕНИЕ, ПЕРЕНОС, КОНЦЕНТРАЦИЯ

Минералы ильменит, циркон и рутил сравнительно легко выделяются из горной породы в ходе выветривания. Это обусловлено резким различием в устойчивости к химическому выветриванию рудных минералов и основной массы минералов вмещающих горных пород. Высвобождение в результате механической дезинтеграции в элювии и в ходе перемещения по склонам хотя и существенно для обособления зерен титановых минералов и циркона, но при этом высвобождаются и другие минералы тяжелой фракции (магнетит, ставролит, сфен, гранат), которые также не успевают разрушиться за относительно короткое время формирования элювия и склоновых образований. В корях выветривания зерна магнетита, сфена, ставролита, граната затрагиваются выветриванием, и, в отличие от ильменита, рутила, циркона, теряют свою прочность. При последующем переносе зерна этих минералов уничтожаются. Зерна же циркона, ильменита, рутила транспортируются на большие расстояния и реками, и волновыми процессами в море. Они в состоянии претерпеть неоднократное переотложение.

Необходимы следующие условия для образования россыпей рутила, циркона и ильменита: 1) наличие крупных коренных источников; 2) благоприятные климатические условия для формирования мощной коры выветривания; 3) благоприятные гидродинамические условия в речной долине, на морских пляжах и в дельтах. Еще в 1968 г. эти положения сформулировал И. И. Малышев, по которому россыпи титана и циркона формируются в три стадии.

1. Непременным условием первой стадии должно быть глубокое химическое выветривание и образование коры выветривания.

Вторая стадия — размыв кор выветривания и отделение песчаных частиц от глинистых.

3. Третья стадия — «гравитационная сортировка» песчаного титаносодержащего материала экзогенными процессами.

Условия формирования и стадии формирования россыпных месторождений, таким образом, достаточно хорошо установлены. Положения И. И. Малышева справедливы. Однако желательно в них внести некоторые уточнения. Для геоморфолога крайне важно представить (на основании реконструкции истории развития рельефа), в какой мере к настоящему времени разрушен денудацией батолит ультраосновной интрузии. Для оценки молодых — четвертичных — россыпей важно еще и выявление приуроченности поверхности массива к различным элементам рельефа.

Далее, при расчлененном рельефе и климатических условиях, благоприятных для выветривания (влажные тропический и субтропический климаты), происходит интенсивное поступление высвобожденных из породы зерен ильменита, рутила и циркона из элювия склоновых образований в аллювиальные, а затем и в морские отложения. Об этом свидетельствует наличие современных богатых морских россыпей, формирующихся и ныне у берегов Флориды, Индии и Южной Африки. Возможно, меловые россыпи Украинского щита, россыпи сарматских, полтавских отложений, дельтовых и прибрежно-морских Днепровско-Донецкой впадины, россыпи других районов формировались таким же образом, т. е. синхронно процессам интенсивнейшего выветривания и сноса.

Таким образом, можно представить следующие этапы образования титано-циркониевых россыпей.

1. Длительный снос, вскрытие интрузивных тел и срез значительной части их.

2. Глубокое и интенсивное выветривание, по большей части сопровождающееся синхронным расчленением и размывом, но иногда и формированием кор выветривания.

3. Формирование россыпей аллювиальных и дельтовых.

4. Формирование морских россыпей за счет размыва морем дельт или перераспределения материала синхронно с привносом его в море реками.

Транспортировка в водной среде рудного материала (ильменита, рутила, лейкоксена и циркона) облегчена по сравнению с золотом или касситеритом (при тех же размерах зерен). К тому же преобладающий размер зерен перечисленных минералов менее 0,3 мм, а следовательно, они довольно быстро перемещаются водными потоками, даже при небольших скоростях течения. Основная масса продуктов выветривания в условиях жаркого или теплого влажного климата — глинистые и иловатые частицы — переносятся еще быстрее. В результате в аллювиальных отложениях происходит накопление ильменита, рутила и циркона, т. е. создаются их повышенные концентрации.

СТРОЕНИЕ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ ИЛЬМЕНИТА, РУТИЛА, ЛЕЙКОКСЕНА И ЦИРКОНА

Об особенностях строения аллювиальных россыпей титаносодержащих минералов и циркона в многочисленных статьях и книгах, посвященных им, сказано немного. Обычно говорится, что россыпи приурочены к древним долинам или линейным понижениям (погребенным и непогребенным), врезанным в фундамент. В работе С. Н. Цимбала

(1977) говорится, что одни из самых крупных россыпей приурочены к погребенным речным долинам, врезанным в Володарск-Вольнский габбро-анортозитовый массив. По М. Ф. Векличу (1966), эти долины имеют неясно выраженную корытообразную форму и протяженность 25—100 км и больше. Ширина их от 1—2 до 5—10 км. В верховьях долины врезаны в кору выветривания основных и кислых пород Коростеньского плутона и выполнены толщей нижнемелового аллювия мощностью до 20—30 м. В нижней части аллювия преобладают среднезернистые плохо отсортированные пески с линзами и прослоями гальки, гравия, каолиновой глины. В верхней части их сменяют мелкозернистые пески, каолиновые и углистые глины. Все отложения содержат ильменит, но промышленный пласт россыпи — разномелкозернистые пески (руслевая фация). Промышленные тела имеют в плане лентовидную форму, а в сечении — форму линзы. Промышленных пластов («залежей») обычно 1—2, иногда и до 8. Содержание непостоянное, но в целом десятки, местами сотни кг/м³. Самые высокие содержания на участках, где долины врезаны в кору выветривания габбро-норитов, оливинового габбро, габбро-пироксенитов. Как пишет С. Н. Цимбал, сформированы россыпи водотоками «со слабым гидродинамическим режимом».

В Давидово-Торочинской системе древние долинные россыпи представляют собой узкие (0,5 км) лентовидные залежи с содержаниями ильменита от 20—30 до 200 кг/м³, местами 500—800 кг/м³.

На Волыно-Подольской возвышенности имеются четвертичные россыпи ильменита, в основном аллювиальные глубиной 15—25 м при ширине 1—2 км. Аллювий представлен песками и галечниками, иногда со щебнем местных кристаллических пород и кремня, образующими русловую фацию. Выше залегают мелкозернистые пески, супеси, суглинки пойменной фации. Мощность аллювия редко больше 5—10 м. Среднеплейстоценовые россыпи приурочены к погребенным долинам «водно-ледниковых потоков» (как пишут С. Н. Цимбал и др., 1977). Развита эти долины на междуречьях и на III надпойменной террасе р. Ирши (приток р. Тетерев, впадающей в Днепр). Содержание ильменита в четвертичных россыпях до нескольких кг/м³.

Дельтовые и прибрежно-морские россыпи титансодержащих минералов образуют полосу длиной более 70 км. Возраст их олигоценый. Продуктивные горизонты представлены мелкозернистыми кварцевыми песками с горизонтальной косой пологонаклонной и мелковолнистой слоистостью (обычной для дельт) с содержаниями 30—60 кг/м³ (местами 120—160 кг/м³).

Среднесарматские россыпи на северо-восточном склоне Украинского щита образуют полосу от р. Самоткань до р. Волчьа длиной свыше 200 км (рис. 12.4). Слоистость подчеркнута слоями, сильно обогащенными темноцветными минералами. Слоистость ритмическая. Три лентовидные залежи разделены полосами песков шириной 200—600 м с низкой концентрацией тяжелых минералов. В наиболее богатой центральной россыпи высокие содержания отмечены в средней части. В поперечном сечении рудные слои имеют вид быстро выклинивающихся линз с максимальной мощностью 15—18 м и очень высокими содержаниями в средней части линз.

Изложенное позволяет нам говорить о нескольких основных моментах, определяющих геоморфологические позиции россыпей ильменита, рутила, лейкоксена и циркона. Образование россыпей этих минералов обеспечено их высокой устойчивостью при выветривании, происходящем в условиях замедленного сноса, или отсутствием такового на оп-

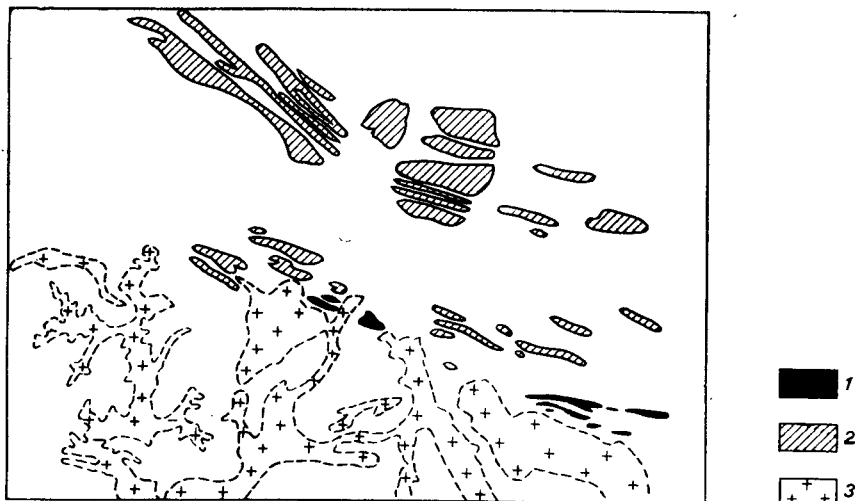


Рис. 12.4. Схематическая карта распространения комплексных россыпей в Приднепровье, приуроченных к песчаным отложениям среднесарматского подъяруса (по Е. А. Добленскому и др., 1977):

1 — россыпи, приуроченные к песчаным отложениям среднесарматского подъяруса; 2 — россыпи, приуроченные к песчаным отложениям полтавской серии; 3 — кристаллические породы докембрия

ределенных этапах геологической истории, т. е. необходим равнинный рельеф, а также теплый и влажный климат. Именно при таком рельефе уклоны днищ долин и скорости течений рек (при высоких уровнях) допускают формирование в аллювии их повышенных концентраций.

При концентрациях $20\text{--}60\text{ кг/м}^3$ и бортовых содержаниях $10\text{--}15\text{ кг/м}^3$ требуются объемы горной массы не менее $10\text{--}20$ млн. м^3 . Для этого необходимо, чтобы днища долин были достаточно широки. Благоприятны дельты и прилегающие к ним побережья, где уклоны дна в волно-прибойной зоне не более $1\text{--}2^\circ$.

Глава 13

РОССЫПИ ВЕРШИННЫХ РАЗВЕТВЛЕНИЙ ДОЛИННОЙ СЕТИ

Особенности долины первого и второго порядка

Строение долины первого и второго порядка

Россыпи золота, платины, касситерита, вольфрамита и алмаза долин вершинных разветвлений долинной сети

Россыпи горного хрусталя

Особенности разработки, разведки и поисков россыпей в долинах вершинных разветвлений долинной сети



ОСОБЕННОСТИ ДОЛИН ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКА

По долинам водных потоков первого и второго, отчасти третьего порядков в зоне гумидного климата зимой и в летнюю межень водный поток почти всегда иссякает. Тем не менее именно текущая вода создает эти относительно малые формы рельефа, что роднит их с долина-

ми более высоких порядков. Следует заметить, что максимальные расходы в логах и распадах наблюдаются не во время половодья, а во время ливневых паводков.

Долины водотоков первого порядка получают питание водой и обломочным материалом, в том числе и обломками россыпных минералов, почти исключительно со склонов. Водный поток слаб, расходы воды невелики, а процессы на склонах протекают так же, как и на склонах долин более высоких порядков. Колебания базисов денудации, распространяясь регрессивно, позже всего проникают в вершинные разветвления долинной сети. Однако с течением времени влияние колебаний базисов эрозии проникает вплоть до самых верховьев. Об этом свидетельствует заполнение их обломочным (склоновым) материалом вершинных разветвлений долинной сети приблизительно в то же время, что и мощная аккумуляция по главным эрозионным стволам. Так, на Зауральской возвышенной равнине в бассейне Урала и Тобола мы можем наблюдать выполнение древних вершинных разветвлений долинной сети. Мощные выполнения, превышающие половину исходной глубины древних распадков, зафиксированы в долинах первого порядка в юго-восточном Забайкалье множеством буровых и шурфовых поперечников. Накопление слабо перемытых склоновых отложений мощностью свыше 10 м можно наблюдать и в бассейне верхнего течения Колымы в условиях низкогорного рельефа. Когда волны свежего эрозионного вреза по тем или иным причинам не проникают в вершинные разветвления речной сети, долины в верховьях широки, пологосклонны и обладают малым уклоном (с учетом их водности).

Водотоки первого и второго порядка и их долины по положению в речной системе неодинаковы. Долины водотоков первого порядка, сливающиеся между собой и дающие начало водотокам второго порядка, отличаются от долин водотоков первого порядка, впадающих в крупные долины (рис. 13.1). Поэтому неодинаково протекает их развитие, а отсюда и формирование аллювия.

Если в среднем длина долин водотоков первого порядка в обоих случаях в общем одинакова, то отметки устьев водотоков первого порядка, открывающихся в крупные долины при прочих равных условиях, заметно ниже, склоны долин круче и длиннее, а уклон дна долин больше. При равенстве бассейна (и водности) на дно долин водотоков первого порядка, открывающихся в крупные долины, поступает больше обломочного материала. При этом доля крупных обломков много выше. Импульсы свежего эрозионного врезания или аккумуляции поступают сюда раньше.

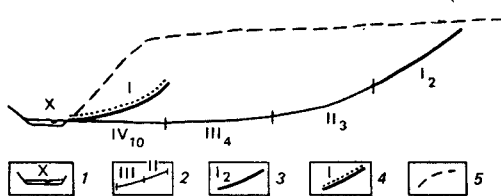


Рис. 13.1. Схема соотношения продольных профилей (долин первого порядка с долинами значительных рек):

1 — дно долины десятого порядка; 2 — продольные профили долин второго, третьего и четвертого порядков; 3 — продольный профиль долины первого порядка при слиянии с одноименной долиной, дающей начало долине второго порядка; 4 — продольный профиль долины первого порядка, впадающей в долину десятого порядка; 5 — средний уровень вершинных поверхностей между речей

СТРОЕНИЕ ДОЛИН ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКА

При прочих равных условиях долины малых водных потоков относительно узки, мельче водотоков высоких порядков. Естественно, долины малых водотоков разных типов рельефа сильно при этом различаются. В горах и на плоскогорьях обычно долины первого и второго порядков носят название распадков, или падей. На равнинах, а иногда и в горах, употребляются названия лог, балка. Отсюда названия аллювия балочный, ложковый, падевый.

В долине распадка пойма обычно отсутствует или плохо выражена. Поверхность днища долины полого наклонена к руслу так же, как поверхность ложа коренных пород (рис. 13.2). Крутизна дна распадка

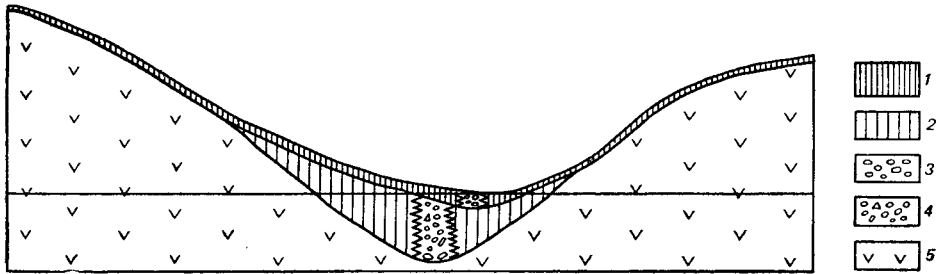


Рис. 13.2. Поперечный профиль современного лога и рыхлые отложения, выполняющие древний лог:

1 — современные и позднплейстоценовые склоновые образования, щебень с суглинками и глыбами; 2 — древние неоген-четвертичные склоновые образования, щебень, дресва с глиной, суглинком, глыбами; 3 — голоценовый и позднплейстоценовый ложковый (распадковый) аллювий, слабоокатанная галька, песок, глыбы, дресва, супесь; 4 — древний неоген-четвертичный аллювий лога (распадка), слабоокатанная галька, песок, суглинок, глыбы; 5 — коренные породы

(лога) постепенно увеличивается к его бортам от 2—6 до 4—15°. По большей части изменение постепенное, но иногда отмечаются уступы высотой 3—4 м, прослеживающиеся вдоль по долине на десятки и сотни метров. Обычно они удалены от русла на 10—15 м. Эти уступы свидетельствуют об интенсивном углублении распадка. Русло переменной ширины и глубины часто загромождено крупными глыбами, сползшими со склонов. Поверхность глыб иногда хорошо оглажена — отшлифована материалом, который несет водный поток. Глубина русла — 0,5—1,0 м, но часто на поворотах отмечаются ямы до 2—3 м. Настоящих излучин — меандр — русло не образует, но многочисленные иногда резкие извилины наблюдаются всегда.

Продольный профиль дна долины (по дну долины, не по руслу) в общем представляет собой плавную кривую, но в деталях часто ступенчатую, особенно при неоднородной устойчивости к размыву горных пород, слагающих дно долины. Вверх по долине с уменьшением водности уклон дна долины уменьшается. Но в случае, когда волны свежего эрозионного вреза еще не добрались до верховьев, картина обратная.

Приведенный на рис. 13.2 поперечный профиль распадка (или лога) характерен для долины первого порядка близ ее слияния с подобным же водотоком первого порядка. Выше по долине склоны становятся круче, выположенное дно — все уже и наконец противоположные склоны сходятся, замыкая долину. Переход в междуречную поверхность четкий. Иногда при этом наблюдается чашеобразное расширение — водосборная воронка.

В случае уменьшения крутизны продольного профиля склоны вверх по течению становятся все ниже и отложе, и долина своей вершиной выходит на пологую седловину или же на волнистую выровненную поверхность приводораздельной части междуречья.

Иногда выполаживание продольного профиля начинается не в долине первого порядка, а раньше — в долинах второго, третьего, а то и четвертого порядков. Поднимаясь вверх по долине V-образной формы, в среднегорье носящей иногда характер ущелья, попадаем в узкую крутосклонную долину, но уже с трапецевидным поперечным профилем. Еще ближе к верховьям склоны ниже и отложе, долина несет следы только начинающегося врезания: свежий эрозионный врез проник в верховья в весьма ослабленной форме.

Аллювий долин первого порядка образуется в результате размыва склоновых образований, сползающих со склонов. Небольшой по размерам, хотя и быстрый водный поток не в состоянии их перемещать. Их шлифует несомый материал, они постепенно выветриваются. Наличие глыб в русле приводит к отклонению струй потока, образованию в их «тени» небольших участков, где при разных расходах и скоростях течения аллювий то отлагается, то вновь размывается. Поэтому в ложковом аллювии мы наблюдаем то скопления грубого материала, то гнезда мелкозема или хорошо промытого черного шлиха.

Галька аллювия распадков плохо окатана, почти щебенка, но иногда много и довольно хорошо окатанной гальки. Это зависит от оглаженности обломков в склоновых образованиях, дающих начало гальке. Таким образом, аллювий распадков и логов плохо сортирован, слабоокатан, слоистость выражена лишь местами и носит линзовидный характер. Это переходное звено от коллювия к аллювию.

Ближе к бортам, куда воды потока в паводки не выходят, склоновый материал не несет следов перемыва. После мощного паводка с повторяемостью в 20—50 лет склоновый материал постепенно наползает на аллювий распадка, а при следующем мощном паводке он оказывается вновь полностью или частично перемыт и переотложен.

В горах рыхлые толщи аллювия долин первого порядка, особенно впадающих в крупные водные артерии, могут сползать вниз по долинам под воздействием силы тяжести; процесс этот мало отличается от сползания коллювия по склонам, и при наличии вечной мерзлоты такое сползание возможно при углах наклона 3—5°.

Долины водотоков второго порядка (крупные распадки и лога, пади) обладают чертами перехода к настоящей речной долине. В них появляются участки почти плоской поймы, более или менее сортированный аллювий, фрагменты террас.

Материал на их днище, так же как и водотоков первого порядка, в основном поступает со склонов. Велика доля перлювиального материала в их аллювии, невысока сортировка и окатанность галечного материала. Ямы в русле и ступенчатость продольного профиля выражены так же, как и у долин первого порядка.

РОССЫПИ ЗОЛОТА, ПЛАТИНЫ, КАССИТЕРИТА, ВОЛЬФРАМИТА И АЛМАЗА ДОЛИН ВЕРШИННЫХ РАЗВЕТВЛЕНИЙ ДОЛИННОЙ СЕТИ

По своему числу россыпи золота распадков и логов, пожалуй, даже преобладают над всеми другими россыпями. Но по общему объему добычи они играют намного меньшую роль, чем россыпи речных долин. В настоящее время россыпи распадков разрабатываются в меньшей мере, чем в прошлом, когда почти не применялась механизация. При

отсутствии ее малая мощность аллювия долин первого и второго порядка даже удобна — легче разведка и добыча. Высокие содержания окупают затраты.

В аллювии малых водотоков содержание частиц золота и платины в общем возрастает от поверхности к плотику. Однако промышленный пласт не так сильно «прижат» к нижним горизонтам рыхлых отложений, как это характерно для типичного аллювия рек, в котором выражена дифференциация на фации. Относительно слабый водный поток перемывает постоянно поступающие массы нового склонового материала, создает многочисленные, но небольшие по размерам скопления, гнезда полезного компонента, многие из которых оказываются на значительном расстоянии от плотика. Наиболее богатые гнезда приурочены к углублениям плотика (ямам), к участкам около крупных глыб. Последние лишь в ходе длительного развития оказываются опущенными к основанию рыхлых отложений. Практически крупные глыбы лежат часто у самой поверхности, что связано с процессами выпучивания крупных обломков из плохо сортированного материала аллювия распадков. Вблизи от крупных глыб у самой поверхности иногда отмечаются высокие содержания в небольших по объему гнездах.

В поперечном сечении рыхлых толщ на дне логов можно проследить приуроченность большинства гнезд к осевой части. Однако в одном сечении такая приуроченность устанавливается, а на несколько метров ниже или выше она исчезает, а затем появляется вновь, как бы намечая тальвег. Тем не менее струя вдоль тальвега, по существу, большая часть гнезд (ям), особенно в ямах и за крупными глыбами, приурочены к наиболее глубокой части ложа аллювия. Во многих случаях эта приуроченность замаскирована тем, что россыпь приурочена к древнему аллювию — наиболее глубокой части древнего лога, смещенного в сторону от современного дна лога.

Неравномерность распределения тяжелых минералов наблюдается в сглаженном виде и по продольному профилю долин низких порядков. Концентрация резко возрастают в углублениях и резко убывают на выступах его поверхности. Глубина долин первого и второго порядков почти всегда меньше, чем долин более высоких порядков, меньше поперечное сечение и объем эрозионного выреза.

В подавляющем большинстве долин первого порядка запасы золота измеряются десятками килограммов, но есть немало распадков, из которых было добыто 200—300 кг, причем линейные запасы достигают более килограмма. Распадков или логов, где запасы достигают 1—5 т, весьма мало, хотя они и известны почти в каждом золотоносном районе.

Для россыпей касситерита, вольфрамита, шеелита соотношение несколько иное. Долинам первого и второго порядков принадлежит большая доля оловянных, вольфрамовых, комплексных оловянно-вольфрамовых россыпей. Казалось бы, действуют все те же факторы, что и для золотых россыпей. Тем не менее более тесная приуроченность оловянных и вольфрамовых россыпей к коренным источникам сказывается и здесь. Вспомним также, что оловянные элювиальные и склоновые россыпи имеют более широкое распространение, чем золотые.

В широких падах в Забайкалье, Туве, Монголии, прорезающих поверхности древнего (донеогенового) пенеплена, известны многочисленные россыпи касситерита. Они сформировались в непосредственной близости от коренных источников. Ширина падей в низовьях может превышать 1000 м при довольно большом среднем уклоне (0,03—0,04). Аллювий падей неоднородный, в основном пески и суглинки с прослоя-

ми и линзами щебенки и гальки и отдельными валунами. Россыпи часто многопластовые несмотря на общую сравнительно небольшую мощность (не более 20 м). Ширина пластов от десятков метров в верхней части пади до 200—400 м в нижней. Судя по размеру, формирование россыпей неоднократно сменялось заполнением падей рыхлым материалом. Погребенные ложковые россыпи известны также на левобережье Оби в районе Колыванского погребенного палеозойского массива (выше Новосибирска). Древние лога частично заполнены суглинками, которые прорезаются современными эрозийными врезами.

Алмазы добывались и добываются из ложкового аллювия в разных районах Африки. Так, для района Кабамбе, находящегося в бассейне Конго, В. С. Трофимов (1967) приводит разрезы аллювия долин «сухих рек», на которых можно видеть, что на гнейсовом плотике залегают плохо сортированные толщи галечника, местами сцементированного и превращенного в конгломерат. Галечник алмазоносен.

РОССЫПИ ГОРНОГО ХРУСТАЛЯ

Крупные кристаллы горного хрусталя с правильной кристаллической решеткой (нетрещиноватые, лишенные посторонних включений, несвилеватые) представляют собой большую ценность, и стоимость их высока. Горный хрусталь, прозрачный, дымчатый кварц и морион могут лишь тогда представлять существенный промышленный интерес, когда из кристаллов могут быть вырезаны целые моноблоки с сечением более чем 20×20 мм.

Сам по себе горный хрусталь — кварц SiO_2 — не выделяется по удельному весу среди других породообразующих минералов. Следовательно, сепарация его кристаллов по удельному весу в водных потоках происходить не может. Однако крупные и весьма прочные кристаллы горного хрусталя переносятся водными потоками несколько медленнее, чем основная масса обломков, поэтому концентрация их в водном потоке повышается. Для возникновения россыпей необходим размер обломков больший, чем у основной массы крупных обломков, поступающих в водный поток. Этому условию отвечают прежде всего территории, где кварцевые жилы включены в мощную площадную кору выветривания. Одновременно кварцевые жилы должны обладать мощностью свыше 1 м, чтобы в их занорышах (пустотах) могли сформироваться друзы крупных кристаллов горного хрусталя. Необходимо также, чтобы древняя площадная кора выветривания была бы экспонирована к процессам эрозии и склоновым процессам.

Россыпи горного хрусталя приурочены к аллювию логов, расчленивших и расчленяющих в настоящее время несколько приподнятые «возвышенные» равнины. В отличие от россыпей минералов с высоким удельным весом аллювиальные россыпи горного хрусталя приурочены к долинам малых водотоков — долинам первого и второго порядков. В долинах более высоких порядков россыпи горного хрусталя немногочисленны. Немало горного хрусталя было получено из элювия и склоновых образований в непосредственной близости от кварцевых жил, заключенных в существенно глинистую площадную кору выветривания.

Россыпи горного хрусталя не удаляются на значительное расстояние от коренных источников. Это связано с их приуроченностью к территориям с равнинным или сопочным рельефом.

В Южном Зауралье рельеф возвышенной равнины имеет высоты междуречий 380—450 м, глубоко, но негусто расчлененный; россыпи горного хрусталя приурочены к долинам первого и второго порядков.

Они располагаются в 2—7 км от экзоконтактов интрузий гранитов. С этими интрузиями связаны весьма многочисленные жилы кварца мощностью до нескольких метров. Часто жилы немного выступают в рельефе. Вмещающие же породы превращены в податливую к размыву кору выветривания, мощность которой там, где целы верхние горизонты коры, 30—50 м. По зонам дробления мощность коры выветривания достигает нескольких сот метров. Кору выветривания на чуть более приподнятых блоках срезают денудацией. На блоках, оставших в поднятии, и близ крупных долин они почти не тронуты, лишь слабо прорезаны линейной эрозией.

Россыпи приурочены к древним логам, сформированным в неогене в эпоху максимального эрозионного расчленения территории. Позднее вся система древних логов выполнена рыхлыми отложениями, образовавшимися при срезании приводораздельных частей междуречий. Мощность осадков, выполняющих лога, обычно 10—15 м, иногда 20—25 м, изредка 40 м. Выполняющие лога суглинки, глины, пески отличаются высокой прочностью. Их сопротивляемость размыву значительно превышает такую для кор выветривания, за счет размыва и переотложения которой они возникли. 90% россыпей горного хреста приурочено к древнему аллювию логов, залегающих в песках, под толщами более поздних выполнений. В аллювии современных логов сосредоточена лишь малая часть россыпей.

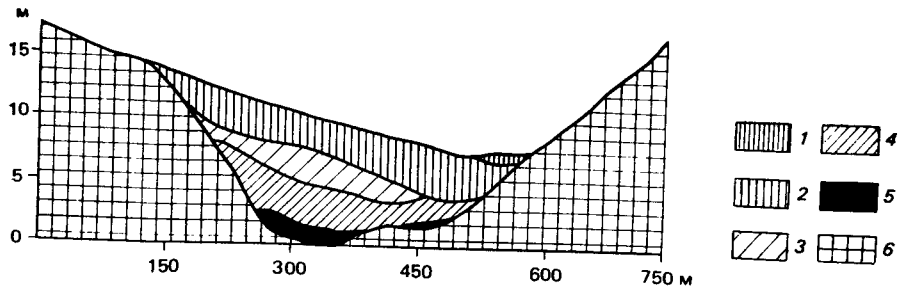


Рис. 13.3. Схематический разрез отложений погребенного лога:
 1 — голоценовая супесь с плохоокатанной галькой и глыбами; 2 — верхнеплейстоценовые бурые суглинки; 3 — средне-нижнеплейстоценовые красновато-коричневые суглинки; 4 — неогеновые пестроцветные глины и глыбами; 5 — песок с галькой; 6 — коренные породы

На рис. 13.3 показан разрез отложений погребенного лога. В выполнении обычно можно констатировать три горизонта суглинистых или глинистых ложковых отложений. Вверху залегают бурые суглинки с довольно хорошо выраженной вертикальной отдельностью, обычно они немного карбонатные и относительно рыхлые. Ниже лежат красно-коричневые более плотные суглинки, иногда глины. Ни в тех, ни в других нет хорошо выраженной слоистости. Лишь иногда видны прослойки песчано-гравелистого материала. Контакт между обоими слоями суглинков четкий, слегка волнистый. Под красно-коричневыми суглинками, сменяя последние по резкому контакту, залегают пестроцветные глины или суглинки буро-красного, серо-зеленого, серого, белого цветов. В их составе довольно много каолина. Эти пестроцветные глины слоеваты. Слои не выдержанны, лежат наклонно или смяты в беспорядочные складки, местами частично размыты. Встречаются линзы песка, горизонты карбонатных оолитов. Многие исследователи называют эти глины «кавардачными», термином, удачно передающим их особенности.

Все три разновидности суглинков (глин) представляют собой склоновые образования, накопившиеся в логах при ослаблении эрозионной деятельности водного потока. Возраст «бурых суглинков» — верхний плейстоцен, красно-коричневых — средний-нижний плейстоцен. «Кавардачные» пестроцветные глины — образования неогеновые.

Под «кавардачными» глинами по оси лога залегают разнозернистые пески, содержащие прослой гравия и гальки. Именно к этим пескам приурочены обломки и целые кристаллы горного хрусталя. Это и есть промышленный пласт россыпи. Мощность песков изменчива. Часто вдоль по логу они выпадают из разреза. Во многих случаях отмечаются их лучшая сохранность и наибольшая мощность в местах максимальной мощности всех отложений, выполняющих лог (рис. 13.4)

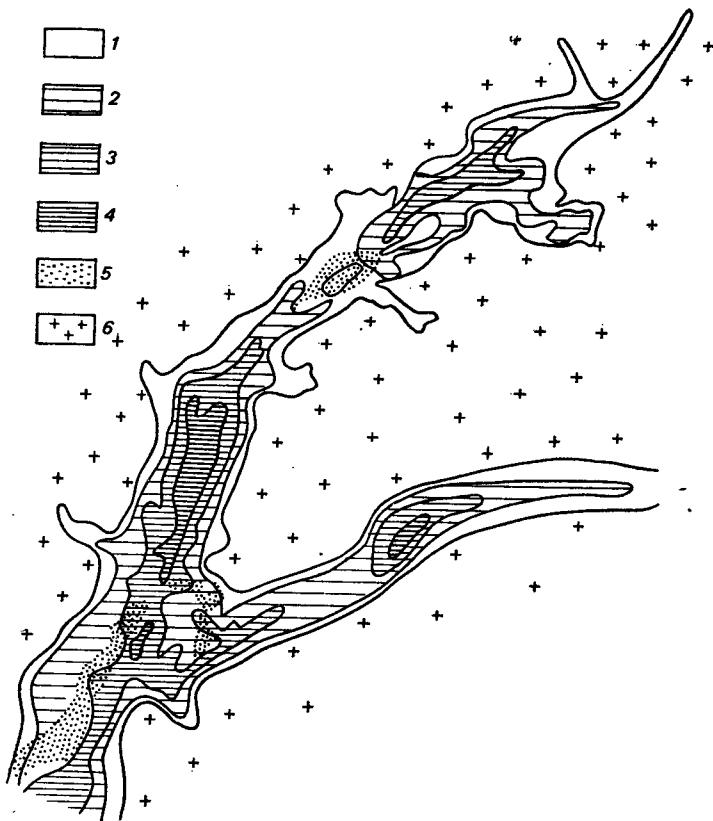


Рис. 13.4. Карта-схема рыхлых отложений одного из логов (по данным В. А. Кокшарова):

1 — рыхлые отложения мощностью 0,0—2,5 м; 2 — то же, 2,5—5,0 м; 3 — то же, 5,0—7,5 м; 4 — то же, 7,5—11,0 м; 5 — разнозернистые пески (ложковый аллювий); 6 — коренные породы

Наибольшие мощности выполнений расположены приблизительно в 1—1,5 км от вершины лога. Для древней сети логов денудационной равнины с хрусталеносными логами обычно характерны следующие особенности.

А. Древняя сеть логов гуще современной, и врезаны древние лога намного глубже современных; они намного шире последних. Во время их максимального углубления (в неогене) базисы эрозии всей ложко-

вой сети — рек бассейнов Урала и Тобола — лежали намного ниже. Б. Ко времени максимального вреза долиненной сети приурочено накопление толщ песчано-гравелистых песков, в которых в виде гальки и валунов и встречается горный хрусталь. К этому времени были срезаны и с междуречий, и особенно в логах большие объемы коры выветривания, заключавшей жилы кварца. Последние служили коренным источником горного хрусталя. Соотношение поверхностей различного возраста показано на рис. 13.5.

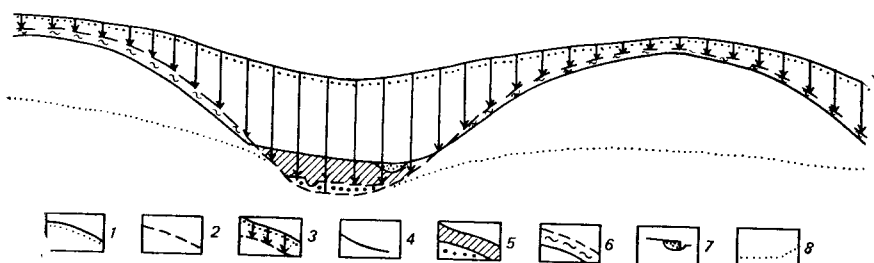


Рис. 13.5. Поперечный профиль лога на разных этапах развития: 1 — поверхность древнего пенеплена; 2 — поверхность времени максимального углубления ложковой (и долинной) сети; 3 — объемы каолиновой коры выветривания и коренных пород, удаленные ко времени максимального врезания долины; 4 — современная поверхность; 5 — толщи, сформированные в эпохи заполнения ложковой сети, склоновые суглинки и аллювий; 6 — объемы коры выветривания, удаленные в эпохи заполнения ложковой сети; 7 — современный аллювий; 8 — подошва каолинизированной коры выветривания в настоящее время

В. Позднее происходило неоднократно прерывавшееся заполнение древних логов. В суглинках и глинах выполнения также иногда встречаются кристаллы горного хрусталя, но повышенные концентрации наблюдаются в них редко, главным образом в горизонтах и линзах, образовавшихся при частичном размыве.

Г. В конце позднего плейстоцена и в голоцене происходило некоторое углубление ложковой сети. Но современная сеть врезана намного слабее, чем древняя.

Приуроченность основной массы промышленных россыпей горного хрусталя к долинам первого-второго порядков выражена отчетливо. Это можно объяснить несколькими причинами. Во-первых, крупные кристаллы кварца слабо транспортируются водными потоками возвышенных равнин. Во-вторых, как ни прочны кристаллы хрусталя, но в водном потоке (и особенно в горах) они испытывают достаточно сильное механическое воздействие, колются на части и теряют тем самым свои свойства полезного ископаемого. Крупные обломки — глыбы, галька — гораздо менее устойчивы в условиях быстрого горного потока, чем зерна гравийной и песчаной размерности. В-третьих, привнос «пустого» материала из логов, где нет коренных источников, приводит к снижению концентрации, разубоживанию россыпи. В-четвертых, долины водотоков крупных порядков, в отличие от таковых первого порядка, углублены в коренные породы, не затронутые или слабо затронутые выветриванием, как это имеет место близ крупных речных долин.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ, РАЗВЕДКИ И ПОИСКОВ РОССЫПЕЙ В ДОЛИНАХ ВЕРШИННЫХ РАЗВЕТВЛЕНИЙ ДОЛИННОЙ СЕТИ

Особенность разработки россыпей в малых долинах определяется в первую очередь относительно малыми запасами полезного ископаемого

то в каждой долине. Незначительный объем горной массы предопределяет краткость времени отработки. Длительность работы горнодобывающего предприятия — один из важнейших факторов, определяющих затраты на добычу продукции. Кроме потерь от списывания временных обустройств, немалое значение имеет возможность применения высокопроизводительной техники. Распределение полезного ископаемого в аллювии логов или долинах ручьев существенно не равномерно. Постоянные по содержанию россыпи редки. Высокие содержания приурочены к гнездам. Поэтому необходима густая сеть разведочных выработок и скважин.

Поисковые работы в малых долинах более трудоемки, чем в долинах более высоких порядков. Неравномерность распределения полезного ископаемого в толщах аллювия требует особого внимания к месту отбора проб.

Глава 14

ДРЕВНИЕ АЛЛЮВИАЛЬНЫЕ РОССЫПИ

Древние россыпи

Россыпи долин, потерявших связь с современным рельефом — «скрытых долин»

Россыпи «приподнятой» долинной сети

Россыпи областей аккумуляции («опущенные»)

Россыпи древнего аллювия, залегающие в пределах долин, формируемых современными реками

ДРЕВНИЕ РОССЫПИ

В настоящей главе рассматриваются в основном аллювиальные россыпи, формирование которых завершилось при иных геоморфологических условиях, нежели современные, и которые к настоящему времени частично разрушены или захоронены в ходе развития рельефа, после их образования.

Процесс захоронения и разрушения россыпей происходил едва ли не на всем протяжении истории Земли. Известны золотые россыпи докембрийского возраста. К ним относятся известные россыпи Витватерсранда в Южной Африке. Имеются данные о палеозойских и мезозойских россыпях. Однако россыпи более древние, чем кайнозойские, немногочисленны, хотя иногда и очень богаты. По степени преобразования осадка, включающего россыпь, можно различать древние россыпи: а) в рыхлых отложениях; б) в отложениях, прошедших диагенез (в песчаниках и конгломератах); в) в метаморфизованных толщах. В большинстве случаев россыпи приурочены к территориям, где складчатость и формирование коренных источников начались еще в мезозое или палеозое, а разрушение их началось задолго до кайнозоя. О многократном переотложении полезного компонента писал А. П. Сигов (1965). Основная часть ценных компонентов попала в россыпи не прямо из коренных источников, а из промежуточных коллекторов. Так, на Урале основные тектонические движения и проявления магматизма произошли в позднем палеозое. За прошедшее после этого время коренные источники россыпей были вскрыты. Полезные компоненты перешли в рыхлые отложения. Последние подвергались в дальнейшем размыву, и были сформированы промышленные россыпи.

В Сибири и на Дальнем Востоке, поблизости от районов широкого распространения россыпей, установлены мезозойские, главным образом верхнемеловые, конгломераты и галечники, сочетающиеся с песчаниками, алевролитами, аргиллитами и угленосными отложениями. По контурам распространения меловых отложений устанавливается, что в большинстве случаев они представляют собой только остатки некогда гораздо более широко распространенных толщ. Мощность уцелевших меловых отложений измеряется сотнями метров, а иногда и 2—3 км. В пределах золотоносных районов меловые конгломераты и галечники часто золотоносны. Современные россыпи тяготеют к территориям, где золотоносные меловые конгломераты и галечники, возможно, были распространены в прошлом, но позднее были размыты.

Для геоморфологических условий залегания меловых золотоносных конгломератов и галечников характерны следующие обстоятельства. Во-первых, они приурочены к внутригорным впадинам, иногда достаточно обширным. Часто улавливается их связь с долинообразными эрозионными понижениями. Во-вторых, в их толще золотоносные слои представляют собой не очень четкие «струи» и «прослои», чередующиеся с толщами пустых пород. В-третьих, это отложения не только аллювиальные, но и пролювиально-аллювиальные, а местами озерные.

На Патомском нагорье (по И. Л. Шофман, 1977) меловым россыпям свойственны определенные геоморфологические особенности. Во-первых, золотоносные меловые отложения приурочены к периферической части Патомского нагорья, для которой неотектонические поднятия незначительны — абсолютные высоты 520—700 м. Во-вторых, меловые отложения приурочены к долинной сети, врезанной в «верхнюю поверхность выравнивания». Глубина эрозионных и карстово-эрозионных долин здесь 30—50 м. Они выполнены в основании пестроцветной глинистой толщей озерного генезиса, свидетельствующей о том, что на первых этапах выполнение долин происходило при отсутствии значительных контрастов высот. Выше залегают зеленоцветная, охристая и белесая толщи. Эти толщи в дальнейшем подверглись интенсивному выветриванию, кроме пород зеленоцветной толщи, которые изменены слабее (рис. 14.1). Зеленоцветная и охристая толщи образова-

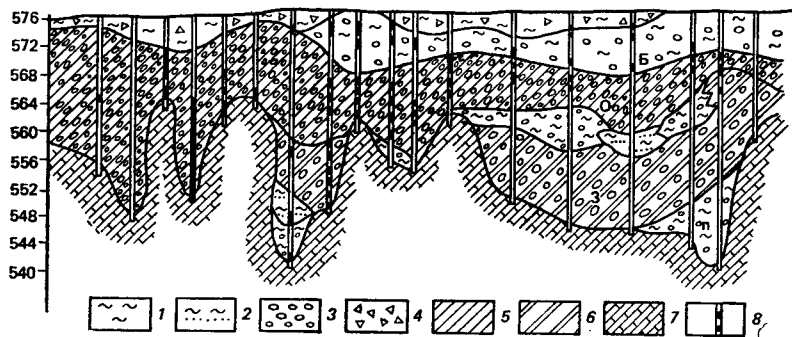


Рис. 14.1. Геологический разрез россыпи мезозойского возраста (по И. Л. Шофман, 1977):

1 — глина; 2 — глина с включением сидеритовых конкреций; 3 — цементованные гидроокислами железа; 4 — галька и валуны; 5 — конгломераты, сцементированные гидроокислами железа; 6 — конгломераты, сцементированные глинисто-сидеритовой породой; 7 — известняки; 8 — золотоносные пропластки; Б — белесая толща; О — охристая толща; З — зеленоцветная толща; П — пестроцветная толща

ны в основном уплотненными галечниками и слабо сцементированными конгломератами с мелкой и средней галькой, крупной гальки и валунов только 3—10%. В составе гальки резко преобладают кварц, кварцитовидные песчаники и кварциты. Иногда отмечаются сплошь выветрелые гальки. Цемент состоит из мелких кварцевых частиц, включенных в массу глинистых минералов и гидроокислов железа. В минералогическом спектре решительно преобладают устойчивые минералы. Древние аллювиальные толщи стали формироваться несколько позднее начала углубления долинной сети. Долины являлись «ловушками» для золотоносного аллювия.

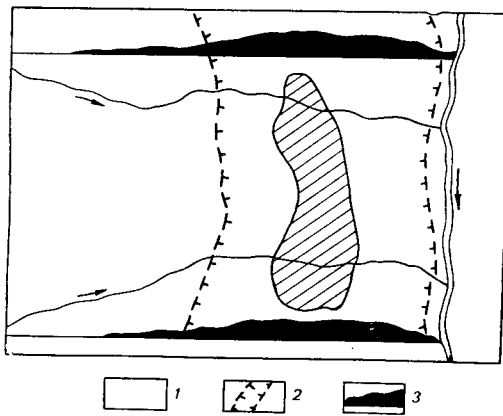
Приблизительно 90% золота россыпей мелового возраста связано с кварцевыми жилами и менее 10% — со скарнами, богатыми сульфидами. Особенности структуры золотин показывают на значительное изменение первичной крупнозернистой структуры (присущей золоту из коренных источников). На поверхности 50% золотин пленки гидроокислов железа. Мезозойские россыпи играют здесь важную роль как промежуточный коллектор в питании современного золотоносного аллювия.

На территории более приподнятой части Патомского нагорья, т. е. там, где расположена основная масса разрабатывавшихся россыпей и рудопроявлений золота, не могло сохраниться ни меловых долин, ни отложений, поскольку здесь интенсивность денудации и величина денудационного среза наиболее велики.

Меловые отложения, широко распространенные в Забайкалье в зоне мезозойской складчатости, местами золотоносны. Слабая золотоносность установлена и для толщ меловых конгломератов в разных частях Приамурья. В области их современного распространения и близости от нее расположены древние кайнозойские россыпи. Это заставляет предполагать, что россыпи современных речных долин формировались и за счет промежуточных коллекторов и за счет дальнейшего разрушения коренных источников. Сказанное относится прежде всего к автохтонным золотым россыпям, но отчасти также к автохтонным россыпям касситерита, вольфрамита, пьезокварца.

В юго-восточной части Яно-Колымского золотоносного пояса до настоящего времени во впадинах сохранились меловые отложения, представленные слабо золотоносными грубообломочными отложениями. Галечники во впадинах и конгломераты по своему гранулометрическому составу близки галечникам современных рек бассейна верхнего течения Колымы. Следовательно, они отлагались горными реками с такими же скоростями течения. В меловых песчаниках и аргиллитах этих впадин золота нет, оно почти полностью приурочено к крупнообломочным конгломератам. На основании их плохой окатанности А. П. Щеголев, изучавший золотоносность меловых отложений верховьев Колымы, относит эти крупнообломочные отложения к пролювиальным.

Из-за низких содержаний особого значения такие отложения не имеют. Но если бы они были размывы и золото из них было бы переложено на дно долин в узкие ленты аллювиальных отложений пойм и террас, то за счет сокращения мощности (грубообломочные отложения у бортов впадин имеют мощность от нескольких десятков метров до 250 м) и уменьшения площади распространения при отсутствии существенного выноса золота они дали бы начало обогащенным россыпям. Действительно, некоторые достаточно крупные и богатые россыпи переходят из поля распространения инъецированных кварцевыми жилами песчано-сланцевых отложений верхоянского комплекса на меловые конгломераты и обратно, причем характер россыпи существенно не меняется (рис. 14.2). В одном случае они сформированы



за счет разрушения и перемыва коренных источников, в другом — за счет переотложения золота из меловых конгломератов. Не исключено, что и

Рис. 14.2. Схема соотношения линейных запасов в россыпях на территории распространения меловых конгломератов:

1 — контур распространения меловых конгломератов; 2 — предполагаемые границы распространения меловых отложений к началу расчленения палеогеновой поверхности выравнивания; 3 — схематизированный график линейных запасов

там, где долины этих рек врезаны в отложения верхоянского комплекса, большая часть золота получена за счет размыва меловых конгломератов, контур распространения которых в прошлом был несомненно более широким.

Значительная часть россыпей бассейна верхнего течения Колымы расположена в пределах широких участков относительно пониженного низкогорного рельефа. Они, с одной стороны, примыкают к долинам крупных рек, а с другой — к среднегорным хребтам и массивам. По высоте вершинные поверхности междуречий на этих участках близки к тем, которые наблюдаются в местах современного распространения меловых отложений. Отсюда вполне оправданно предположение о том, что на этих участках располагались широкие депрессии, на дне которых залегали меловые отложения. При наличии коренных источников в окаймляющих горах меловые отложения должны были быть золотonosны и в дальнейшем послужили промежуточным коллектором для россыпей в долинах рек этой территории.

Следовательно, россыпи бассейна верхнего течения Колымы формировались не только за счет размыва коренных источников в неогене и четвертичном периоде и переотложения тяжелых компонентов с террас на все более низкие уровни (вплоть до поймы), но частично за счет размыва промежуточных коллекторов, сформированных в донеотектонический этап развития рельефа территории, при разрушении поднятий, созданных в позднемеловую эпоху. За это говорят следующие факты: 1) приуроченность основной массы россыпей к участкам пониженного низкогорья; 2) золотonosность (хотя и относительно слабая) грубообломочных меловых отложений, уцелевших на участках пониженного низкогорного рельефа; 3) одинаковый характер россыпей в долинах, пересекающих отложения верхоянского комплекса и верхнего мела.

В формировании россыпей в Южном Зауралье важную роль сыграли юрский, меловой, олигоценый и миоценовый этапы развития рельефа. Для зауральского пенеплена характерна хорошая сохранность мезозойской поверхности выравнивания. На ней ранее были сформированы мощные палеозойские коры выветривания, хорошо сохранившиеся во многих районах. Наиболее древние аллювиальные отложения (юра) приурочены к глубоким карстовым понижениям и уцелели в многих местах. Существенное значение имеют меловые (сеноманские) россыпи.

После перестройки речной сети в конце палеогена (олигоцене) образовались россыпи высоких террас современных речных долин. Формировались они за счет переотложения золота при размыве мезозойских россыпей. Россыпи и мезозойские, и олигоценовые приурочены к эрозионно-тектоническим депрессиям. В миоцене часть золота древних россыпей и кор выветривания была переотложена в аллювий малых водотоков — россыпи, в основном ложковые и пролювиальные. Они часто примыкают к рудным источникам, таким образом миоценовые россыпи формировались и за счет разрушения коренного источника. На близость последних, в частности, указывает нахождение в них крупных самородков.

В Центральном Казахстане достоверно установлены меловые долины. В плане с ними совпадают долины многих современных крупных рек. Уже в мелу происходило расчленение мезозойского пенеплена, фиксированного мощными корами выветривания. Размыв кор давал начало золотоносности меловых отложений. Обнаружена довольно густая позднеолигоценовая долинная сеть, для которой зафиксирован валунно-галечный аллювий, иногда золотоносный.

Естественно, историю развития рельефа таких удаленных от нас эпох, как поздний мел, удается реконструировать только в основных чертах, а степень уверенности в справедливости реконструкций не всегда высокая. Однако приведенные данные позволяют рассматривать образование больших по объему толщ с убогими содержаниями на первых этапах формирования россыпей как наиболее возможный вариант их начальной истории. Приуроченность большинства отработанных россыпей к голоценовому аллювию можно было бы рассматривать как свидетельство короткой истории золотых россыпей. Но она объясняется неоднократным переотложением малоподвижных частиц тяжелых минералов на все более и более низкие уровни. «Подпитка» же за счет продолжающегося в голоцене размыва коренных источников играет незначительную роль.

Древние россыпи имеются почти в каждом золотоносном районе, кроме территорий интенсивного современного вулканизма. В зависимости от истории развития рельефа они имеют различный возраст и различное положение в рельефе. Особенно важно, чтобы в ходе развития рельефа рыхлые осадки локализовались на все более узких территориях — в пролювиальных шлейфах, озерно-аллювиальных толщах во внутригорных и предгорных впадинах. Далее россыпные минералы все в большей мере сосредотачиваются в аллювии рек, на узких полосах днищ речных долин.

Процесс создания промежуточных коллекторов, а затем и россыпей, длительный, охватывает миллионы лет. Можно предполагать, что в минувшей геологической истории могла складываться и такая ситуация, когда общая тенденция нарастающей концентрации минералов нарушалась. Например, при возникновении высоких гор или гор с крайне неравномерным стоком наносов, таким, как у рек с селевым режимом. В таком случае происходило разубоживание россыпей и обеднение промежуточных коллекторов. Возможен и промежуточный вариант, когда нет тенденции ни к концентрации тяжелых минералов, ни к их рассеиванию.

Согласно предлагаемой нами схеме формирование россыпей в большинстве золотоносных районов проходило в три этапа.

1. Вывод на поверхность коренного источника, что требует достаточного денудационного среза — 1,5—3,5 км. Для этого, кроме прочих условий (тектоника, климат), нужно еще и время, не меньше 20—30 млн. лет, а по большей части 50—80 млн. лет.

2. Накопление мощных толщ рыхлых отложений во внутригорных впадинах или по ближайшей периферии горных сооружений. Это промежуточные коллекторы. Лишь в редких случаях концентрация россыпных минералов в них значительна.

3. Разрушение промежуточных коллекторов и формирование россыпей, главным образом аллювиальных, с высокими концентрациями полезного компонента. Одновременно может происходить подпитка за счет дальнейшего разрушения коренных источников.

Древние россыпи различны по своему положению в рельефе.

Во-первых, есть древние аллювиальные россыпи, потерявшие всякую связь с современным рельефом. Формировались они, естественно, в речных долинах. Но долин, в которых они формировались, уже давно нет, как нет и древнего рельефа, который расчленил эти долины. Однако аллювий иногда частично сохранился. Он может быть метаморфизован, дислоцирован, как это имеет место в «рифлах» Витватерсранда, или диагенетизирован. В ряде районов древний аллювий лишь слегка сцементирован.

Во-вторых, наблюдаются россыпи, приуроченные к древним речным долинам, ныне уже не формируемым. Здесь могут быть выделены следующие разновидности: россыпи долин уцелевших фрагментов древних поверхностей выравнивания; россыпи седловин; россыпи «брошенных» речных долин. Для всех этих россыпей характерно одно: днища долин, к которым они приурочены, ныне лежат высоко над уровнем современных долин. Поэтому их должно называть россыпями приподнятой древней долинной сети.

В-третьих, существуют россыпи, приуроченные к древней долинной сети, не связанной или же слабо связанной с современной благодаря

Таблица 14.1

Группы и виды древних россыпей

| Древние аллювиальные россыпи, не обнаруживающие связи с современным рельефом (и долинной сетью) | Древние аллювиальные россыпи, залегающие на дне долин, потерявших генетическую связь с современной речной сетью | | Древние аллювиальные россыпи, залегающие в пределах ныне развивающихся долин, формируемых современными реками |
|---|---|--|---|
| | приподнятые (частично разрушенные) | опущенные (почти всегда погребенные) | |
| 1. В метаморфических толщах | 1 — поверхностей выравнивания | 1 — скрытые под наклонными пролювиальными шлейфами | 1 — речных террас |
| 2. В осадочных толщах | 2 — седловин (и их цепочек) | 2 — скрытые под субгоризонтальными озерными и озерно-аллювиальными равнинами | 2 — террасоувалов |
| 3. В рыхлых осадках («скрытые») | 3 — брошенных сквозных долин | 3 — скрытые под морскими террасами и дельтовыми равнинами | 3 — подувальных врезов |
| | | 4 — скрытые под моренными и водноледниковыми отложениями | 4 — глубоких тальвегов (под аллювием пойм и надпойменных террас) |
| | | 5 — скрытые под склоновыми образованиями | |

тому, что эти россыпи лежат ниже уровня днщ современных речных долин. Такие россыпи почти всегда перекрыты толщами более поздних отложений — озерных, ледниковых, морских. Их можно рассматривать как *россыпи опущенной долинной сети*. В отличие от древних россыпей, потерявших всякую связь с рельефом, эти россыпи сохраняют некоторую связь с долинной сетью, выраженной в современном рельефе: прослеживая их снизу вверх, мы приходим к непогребенным частям тех же самых долин. В отличие от первой группы у второй и третьей групп связь с современным рельефом может быть выявлена.

Наконец, в-четвертых, есть древние *россыпи, приуроченные к ныне развивающимся долинам*. Эти древние россыпи сформированы в тех же долинах, теми же самыми реками, которые формируют и современные поймы этих рек. Здесь могут быть выделены аллювиальные россыпи: а) террас, б) террасоувалов, в) подувальных врезов, г) глубоких тальвегов.

Для разделения древних аллювиальных толщ в данном случае использован чисто геоморфологический принцип. По тому же геоморфологическому принципу в каждой группе выделяются виды древних россыпей (см. табл. 9.1 и 14.1).

Могут быть обнаружены древние россыпи (и древние долины), занимающие промежуточное положение. Долины возникали и развивались при бесконечно сложном сочетании условий и факторов. Предлагаемая схема составляет попытку отразить существенное в их формировании.

РОССЫПИ ДОЛИН, ПОТЕРЯВШИХ СВЯЗЬ С СОВРЕМЕННЫМ РЕЛЬЕФОМ — «СКРЫТЫХ ДОЛИН»

В данном разделе речь идет о россыпях в рыхлом аллювии преимущественно кайнозойского, редко мелового, возраста. Эти долины и долинные врезы не выражены в современном рельефе, но их нельзя назвать «опущенными» или «погребенными». Их аллювий располагается выше дна современных долин. Древние долинные врезы заполнены рыхлыми отложениями вровень с прилегающими частями междуречий. Их можно обнаружить, проведя специальные исследования. Поэтому назовем их «скрытыми». Древняя долинная сеть заполнена рыхлыми отложениями, но вовсе не погребена под ними вместе с примыкающими к ним междуречьями.

Рассмотрим несколько примеров. В одной из неглубоких (300—500 м) внутригорных впадин междуречья существовал прииск Нагорный. Его россыпи описаны П. К. Яворовским еще в начале века, когда добыча золота из них еще продолжалась. Название прииск получил за то, что он и его россыпи расположены не в долине реки, а на междуречье в его приводораздельной части. В настоящее время реки расчленили коренное днище внутригорной впадины, но не глубоко — на 30—50 м, и в целом днище впадины обладает в настоящее время равнинным эрозионным рельефом. Россыпи Нагорного были частично отработаны. После революции добыча не производилась. К 60-м годам строения прииска разрушились, а поля, луга и огороды, прилегавшие к нему, вновь захватила тайга. Еще заметны полузаваленные шахты, отвалы, выстланные лиственничными бревнами дороги, да развалившаяся кирпичная церковь.

Судя по геоморфологическому строению днища — по распределению рыхлых отложений в плане и по профилям в палеогене, неогене и четвертичном периоде, — на дне впадины временами происходила аккумуля-

ляция (осадки на междуречьях), а временами — врезание и расчленение. Об этом свидетельствуют эрозионный врез с золотосными отложениями у бывшего прииска Нагорного и более поздние плейстоцен-голоценовые долинны врезы с их аллювием. Поскольку наиболее богаты древние россыпи, они представляют первоочередной интерес.

Несколько иначе построены долины в Зауралье, также не выраженные в рельефе и несущие россыпи, расположенные на волнистой денудационной равнине, где на значительных площадях сохранились площадные и линейные коры выветривания. В толщу площадных каолиновых кор выветривания врезаны многочисленные лога, заполненные вровень с краями рыхлыми аллювиально-склоновыми отложениями (см. рис. 13.4 и 13.5). Современная поверхность междуречья срезает и коры выветривания, и суглинки, выполняющие лога.

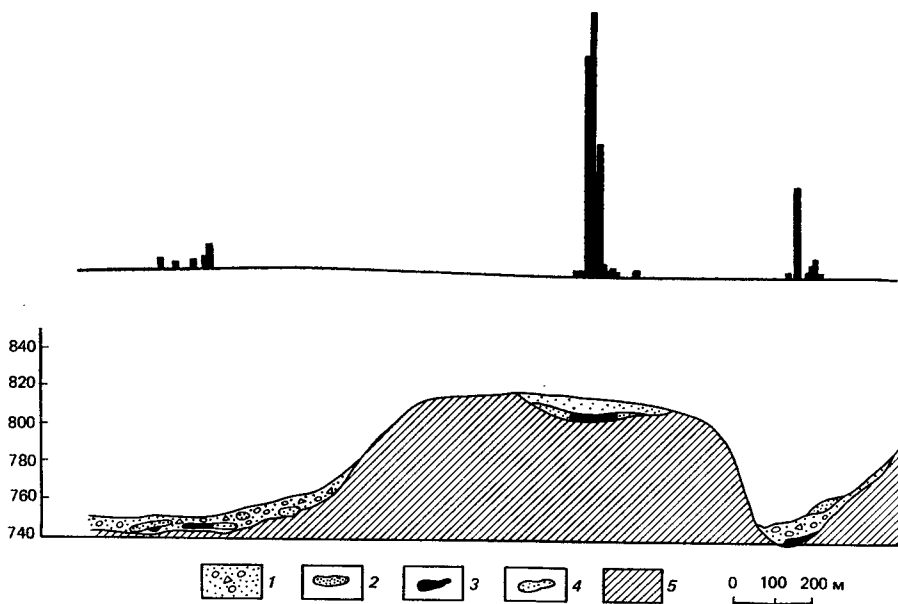


Рис. 14.3. Строение водораздельной россыпи (по А. Г. Желамскому, 1976, с упрощениями):

1 — современные и верхнечетвертичные отложения; 2 — отложения выветрений древней водораздельной долины; 3 — россыпь; 4 — аллювий выполнения древней водораздельной долины; 5 — коренные породы. Черными столбиками над профилями показана относительная продуктивность аллювия россыпей

На рис. 14.3 изображена неглубокая древняя долина, параллельные ей современные долины расположены намного глубже. Однако россыпь древнего аллювия в несколько раз больше россыпей современных смежных долин. Формировались эти «скрытые» долины, когда врез современной долины был намного меньше. Затем происходило заполнение долины. При последующем врезании сток сосредоточился по долинам, отличающимся значительной глубиной в настоящее время. Таким образом, «скрытые долины» небольших размеров — водотоков первого порядка — известны для районов с различным, в том числе и с горным, рельефом.

Среди россыпей в долинах, высокоподнятых над современными базисами эрозии, можно различать несколько типов: 1) россыпи поверхностей выравнивания; 2) россыпи сквозных долин; 3) россыпи седловин, «оставленных реками».

Долины рек после своего формирования, а иногда и во время него, часто оказываются приподнятыми над днищами современных долин, т. е. «оторванными» от базисов денудации. Особенно в горных районах, где неотектонические движения отличаются большой интенсивностью. Речная сеть реагирует на поднятия: увеличиваются постепенно продольные уклоны долин, их глубина и крутизна склонов. Чем меньше размер и водность водотока (при прочих равных условиях), тем меньшую возможность имеет он для удаления материала, а врезание его не может происходить быстро. Поэтому вблизи главных водоразделов сохраняются участки, куда свежий врез, вызванный неотектоническими движениями, проникает в ослабленной форме. Процессы же склоновой планации продолжают срезать выступы рельефа, и приводораздельные пространства имеют относительно выровненный характер. На этих территориях, (поверхностях выравнивания), куда не проникла свежая эрозия, сохраняются россыпи, сформировавшиеся еще до эпохи активизации тектонических движений, т. е. донеогеновые или доплиоценовые.

Россыпи поверхностей выравнивания описаны А. П. Божинским для горной области. Здесь сохранности поверхности выравнивания и россыпей способствовала прочность гранитов и метаморфических пород, затруднившая распространение свежего эрозионного вреза на участки вблизи главных водоразделов (рис. 14.4). Древние поверхности выравни-

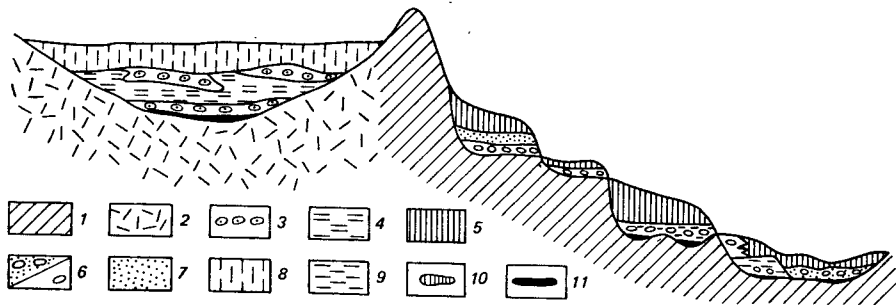


Рис. 14.4. Строение и золотоносность четвертичных отложений в среднегорной зоне:

- 1 — складчатый фундамент; 2 — кора выветривания; 3 — пестроцветные галечники; 4 — пестроцветные глины; 5 — красно-бурые суглинки; 6 — галечники; 7 — пески; 8 — бурые суглинки; 9 — синие глины; 10 — торф; 11 — золотоносные россыпи

нивания хорошо сохранились в низкогорьях другого региона, по периферии горных хребтов. Здесь, на одном из участков хорошей сохранности древней поверхности выравнивания, хорошо сохранились древние россыпи по многим речным долинам первого — третьего порядка. Долины первого порядка углублены в поверхность выравнивания на 30—60 м, долины третьего порядка — на 70—120 м. Более крупные долины углубились еще больше. В малых долинах, углубившихся слабо, россыпи сохранились, хотя они и переотложены.

В Яно-Колымском золотоносном поясе на уцелевших фрагментах поверхности выравнивания известны промышленные россыпи в вершин-

ных разветвлениях долинной сети. Это долины водотоков первого-второго порядка с малыми объемами горной массы, но иногда (редко) с высокими содержаниями. Более или менее сохранившиеся фрагменты донеогеновой поверхности выравнивания имеются только вблизи главных водоразделов, где занимают 2—5% площади. Доля долин древней поверхности выравнивания в суммарных запасах полезных компонентов не достигает и 0,1%. В целом надо признать, что поверхности выравнивания не могут обеспечить существенных запасов. Однако некоторым подспорьем при наличии других россыпей они быть могут.

Под сквозными «оставленными» долинами понимаются речные долины, пересекающие горные хребты или массивы. В своем заложении и формировании они связаны с крупными разломами, пересекающими тектонические поднятия вкрест их простирания.

По некоторым долинам, пересекающим морфоструктуры, в настоящее время разрабатываются россыпи. Известны россыпи и в долинах, уже брошенных реками. Поэтому эти долины надо иметь в виду, хотя, конечно, общая геоморфологическая ситуация здесь не вполне благоприятна.

Во всех горных системах, на плато и высоких денудационных равнинах имеются долины, «оставленные» реками по той или иной причине. Такой причиной служат речные перехваты, прекращение подпора ледником, интенсивные тектонические деформации, а чаще всего иссушение климата и прекращение стока. Оставленные долины обычно хорошо морфологически выражены, хотя аллювиальные отложения перекрыты сверху эоловыми песками, склоновыми образованиями, что затрудняет опробование аллювия, выявление россыпи. Россыпи в подобных долинах известны во многих полупустынных районах.

Могут быть *россыпи на седловинах*, приуроченных к одной прямой (или несколько изогнутой) зоне разлома. При пересечении ее в долинах рек иногда появляются целые серии россыпей, что связано с приуроченностью к данной зоне разлома коренных рудопроявлений. При наблюдении на местности отчетливо видно, что седловины как бы продолжают одна другую, трассируя зону разлома. В прошлом по зоне разлома могла существовать единая долина, позднее рассеченная. В таком случае высоты седловин оказываются близкими и ширина их постепенно увеличивается в одном направлении. Россыпи на седловинах могут быть значительные. Однако часто аллювий уже снесен, цепочка седловин вдоль зоны разлома может иметь денудационное происхождение, и россыпь в этом случае отсутствует.

РОССЫПИ ОБЛАСТЕЙ АККУМУЛЯЦИИ («ОПУЩЕННЫЕ»)

Погребенные россыпи могут быть и не только в областях с аккумулятивным рельефом. Например, россыпь может быть погребена в пределах речной долины под толщей аллювия или склоновых отложений в низкогорьях, среднегорьях, на возвышенных денудационных равнинах и высоких плато. В настоящем разделе рассматриваются россыпи внутригорных впадин или котловин и депрессий, россыпи предгорных равнин, погребенные под морскими, дельтовыми, ледниковыми, склоновыми отложениями.

Начнем с первых. На равнинах скорости водных потоков невелики, и они почти не перемещают частицы тяжелых минералов. В ходе чередования эпох размыва и аккумуляции (в пределах аккумулятивных равнин) материал неоднократно перемывается. Здесь встречаются преимущественно погребенные дельтовые, прибрежно-морские и аллювиальные

россыпи, перекрытые разнообразными по генезису отложениями. Цоколь аллювиальных равнин в целом довольно ровный. Имеющиеся неровности представляют собой древние долины, иногда с аллювиальными россыпями.

В настоящее время многие равнины суши, даже такие как Западно-Сибирская или Прикаспийская, — арена денудации. Древние аккумулятивные толщи, в том числе и содержащие полезный компонент, перемываются реками и дают начало новой генерализации россыпей. Таким образом, на равнинах три яруса россыпей: 1) прицокольные, обычно аллювиальные; 2) собственно аккумулятивных толщ, очень часто дельтовые и прибрежно-морские; 3) приповерхностные, почти исключительно аллювиальные. Россыпи каждого яруса отличаются определенной спецификой.

Во внутригорных впадинах и обширных депрессиях рельефа, окаймленных горами, известны многочисленные россыпи золота, касситерита, ильменита, циркона и других. Решительно преобладают аллювиальные, несколько меньше аллювиально-пролювиальные россыпей.

Мощность рыхлых отложений может быть весьма различна. На междуречной равнине, ограниченной невысокими горами, чехол рыхлых отложений обычно менее 100 м. В межсопочных котловинах россыпи залегают в пределах ровных поверхностей межсопочных котловин. Здесь древние эрозионные формы по плановым очертаниям не вполне совпадают с современными. Долины существенно золотonosны лишь там, где они по своему положению наследуют древнюю долинную сеть. При выходе из сопочных массивов в пределах межсопочной котловины в плане долины сохраняют свое положение. Однако далее, уже в пределах аккумулятивной равнины, они могут быть смещены в сторону на несколько километров. Надо отметить, что повышение уровня днщ межсопочных котловин в результате аккумуляции было здесь невелико — порядка 20—25 м, но тем не менее поверхность дна котловины была выровнена.

В других областях значительная часть россыпей располагается по периферии невысоких (менее 1500 м) горных массивов и хребтов. При этом большая часть россыпей «затягивается» вдоль по долинам рек в пределы горного массива на 2—4 км. При этом высокие концентрации наблюдаются в основном в древнем перстративном аллювии, хотя мощность пласта во многих случаях и увеличена — пласт как бы «растянут» по вертикали, а иногда и расщеплен. Мощность аккумулятивных толщ, перекрывающих россыпи, достигает 30—40 м.

Нередко на днщх небольших внутригорных впадин в разрезах констративных аллювиальных толщ наблюдаются линзы галечников с промышленными содержаниями. Вверх по течению они сближаются и в конце впадины, где мощности аллювия менее 10 м, сливаются в единый пласт россыпи. Вверх по течению — вне зоны аккумуляции — погребенные россыпи переходят в обычные с нормальной мощностью аллювия.

Россыпи внутригорных впадин и депрессий, несмотря на высокие содержания, из-за трудности обнаружения и больших мощностей вмещающих рыхлых отложений в настоящее время эксплуатируются в немногих районах. К отложениям протерозойских межгорных впадин (или предгорных равнин) принадлежит и россыпи знаменитых месторождений Витватерсранда. Формирование этих уникальных месторождений специфично, и делать какие-либо сопоставления весьма затруднительно.

Россыпи нижнего яруса, приуроченные к долинам, формировавшим-

ся до эпохи аккумуляции или в ее начале, пока представляют основной интерес. Можно было бы принять, что они близки к россыпям, сформировавшимся в условиях денудационного рельефа, т. е. что это автохтонные россыпи. Против этого предположения говорят два факта. Во-первых, слабая расчлененность — «почти равнинность» погребенного «коренного» рельефа. Следовательно, эрозия переработала небольшие объемы горных пород и нужны многочисленные и богатые коренные рудопроявления, чтобы переведенный в аллювий полезный компонент мог насытить аллювий рек, протекавших по коренному днищу впадин. Во-вторых, в древнем аллювии преобладает мелкое золото. Правда, точных данных о гранулометрии золота немного. Мелкое золото, такое по размерам, как и в богатых им линзах внутри констративных толщ, заполняющих впадины, могло приноситься и с горных поднятий, обрамляющих депрессии.

Аккумуляция мощных толщ рыхлых отложений начиналась не «сразу». В начале орогенного этапа (когда стали формироваться современные горные хребты и внутригорные впадины) на дне впадин аккумуляция не раз сменялась денудацией. Накапливавшиеся толщи перемывались, и тяжелые минералы постепенно концентрировались на днищах впадин. При неоднократной смене в направлении развития рельефа происходило и выравнивание «коренного» рельефа днищ впадин за счет срезания неровностей, возвышавшихся над толщами наносов. Таким образом, россыпи погребенных долин, расчленяющих днища впадин, лишь иногда частично автохтонные.

Россыпи второго яруса в межгорных впадинах сплошь аллохтонные. Средняя крупность золотин постепенно уменьшается вниз по долинам рек, протекающих по впадинам. В том или ином сечении во впадине средняя крупность золотин зависит от размера и формы частиц, скоростей течения водного потока при экстремальных расходах, времени поступления частиц во впадину. Средняя крупность частиц в коренном источнике играет малую роль, поскольку крупные частицы почти полностью остаются в пределах долин горных сооружений, окаймляющих впадины.

Россыпи верхнего яруса межгорных депрессий и внутригорных впадин, связанные с аллювием пойм и террас, формируются и за счет перемыва ранее сформированных аккумулятивных толщ, и (в меньшей мере) за счет поступления новых порций металла, выносимого из окружающих гор.

При изучении россыпной золотоносности внутригорных впадин и межгорных депрессий приходится иметь в виду три направления в возможностях расширения сырьевой базы.

Во-первых, реконструкция долинной сети, сформированной в коренных породах днищ впадин. Для этого требуется довольно большой объем бурения. Частично его можно заменить ВЭЗ и сейсмопрофилеированием. Необходимо учитывать возможность значительных смещений и деформаций днищ долин в ходе позднейших тектонических движений.

Во-вторых, изучение линз и струй во втором ярусе — в самой констративной толще. В принципе обогащенные струи должны располагаться закономерно, фиксируя положение днищ долин на этапах денудации и врезания. При этом надо учитывать, что в тех местах, где во впадину открываются долины рек, выходящие из обрамляющих гор, вся толща может оказаться рентабельной для отработки, поскольку в этих местах общие мощности несколько меньше. А кроме того, удобнее отрабатывать компактную горную массу, нежели вытянутые и маломощные линзы при более или менее значительной вскрыше.

В-третьих, если поверхность аккумулятивного днища межгорной депрессии расчленена долинами рек, то в прибортовых частях депрессии современные долины часто оказываются промышленно золотonosными. Пласт горной долины с нормальной мощностью аллювия расщепляется на два (или больше), и верхний — голоценовый — пласт аллювия нередко оказывается промышленно золотonosным.

В восточных районах СССР иногда возможно реконструировать уровень древней аккумуляции по вогнутому перелому на склонах. Он часто не совпадает с границей распространения рыхлых отложений, а лежит немного выше из-за неравномерного в пространстве склонового сноса.

Аллювиальные россыпи предгорных равнин имеют много общего с россыпями внутригорных впадин и межгорных депрессий. Но предгорные равнины — односторонние наклоненные поверхности, а не замкнутые понижения. Предгорная наклонная равнина с одной стороны граничит с горами, откуда идет вынос обломочного материала, а с другой может примыкать к морю, как это имеет место на Северо-Востоке СССР, или к денудационно-аккумулятивной — например, в восточном Зауралье, или же к пустынной равнине, сложенной рыхлыми отложениями (в Средней Азии). Здесь вариантов может быть много. Важно, что предгорные равнины разнообразны по морфологии и строению и имеют распльвчатую границу, мигрирующую в ходе развития горной системы.

Если предгорная равнина прилегает к морю, то колебания его уровня в геологическом разрезе времени быстрее сказываются на развитии рельефа предгорной равнины и россыпей, формирующихся на ней. 100—110-метровое понижение (гляциоэвстатическое) 18 000 лет назад привело к осушению значительной части шельфа и соответствующей перестройке флювиального рельефа. Происходило врезание рек, углубление долин, а при последовавшем в голоцене поднятии уровня моря произошло частичное заполнение речных долин, захоронение россыпей. Такие относительно быстрые изменения базиса эрозии были характерны для всего ледникового периода. Во время максимальных оледенений, особенно в раннем, а также среднем плейстоцене, понижение уровня моря превышало 100—110 м и колебания его сказывались на перестройке флювиального рельефа и россыпей. Происходили размыв россыпей и переотложение на низкие уровни, а при повышении базиса эрозии — захоронение россыпей. При этом из-за относительно небольшой продолжительности времени перестройка рельефа и приспособление долин к новому уровню базисов эрозии не успевали завершиться.

На прибрежных равнинах большее значение имеют также изменения базиса эрозии, совершающиеся медленно и порождаемые тектоническими причинами. При этом обнаружены бесспорные следы высокого стояния уровня моря в миоцене и плиоцене, а временами значительного понижения уровня моря. Четкие долинныe понижения на северном шельфе Евразии прослеживаются до 300—400 м, а местами и до 600 м. Вопрос о более высоком стоянии уровня моря в кайнозойе (на отдельных отрезках времени) в настоящее время очень дискуссионный.

При поисках погребенных аллювиальных россыпей во внутригорных впадинах, межгорных котловинах и на предгорных равнинах необходимо учитывать весь комплекс геоморфологических особенностей территории и истории формирования ее рельефа. Однако есть несколько довольно несложных приемов, которые могут быть использованы практически почти всегда.

А. На территориях, прилегающих к аккумулятивным равнинам, речная сеть по своей ориентировке тесно связана с зонами дробления,

отдельными разломами. Линейно вытянутые тектонически обусловленные формы рельефа — линеаменты — могут продолжаться и почти всегда продолжают и под чехлом рыхлых отложений в пределах впадин и депрессий. Вдоль них и протягиваются долины, скрытые под чехлом наносов, возможно содержащие погребенные россыпи.

Б. Иногда долины, открывающиеся во впадины, продолжают не линеаменты, а просто долины рек. При реконструкции долинной сети на дне впадин надо пытаться реконструировать долинную сеть с учетом всей конфигурации долинной сети на примыкающих к впадине территориях с денудационным рельефом.

В. Если впадина (депрессия) развивается длительно — с начала эпохи активизации тектонических движений (с начала неотектонического этапа), то необходимо учитывать и неравномерность поднятий ее бортов, а возможно, и выдвигание блоков в срединных частях депрессии. Так, в Амуро-Зейской депрессии имеется множество отдельных блоков различных размеров, движения которых были неодинаковы и способствовали смещению речных долин.

На предгорных равнинах в Средней Азии также известны россыпи золота. Некоторые из них частично отрабатывались много веков тому назад. Такие отработанные россыпи протягиваются от гор на равнину длиной до нескольких километров. Поскольку подземные воды залегают на подгорной равнине на глубине 1—5 м, отработки захватывают только верхние четвертичные галечники и нет данных о более глубоких горизонтах галечников, слагающих в данном месте предгорный прогиб. Здесь трудно предполагать колебания базиса эрозии, поскольку реки теряют свою воду на предгорной равнине. Можно предполагать, что в результате изменения климатических условий менялась водность рек и временами реки врезались и перемывали свои отложения. Это должно было определить увеличение концентраций тяжелых минералов, в том числе и золота.

Россыпи ильменита, рутила и циркона на равнинах платформ и плит в значительной мере погребенные, по возрасту нередко донеогеновые. Об их геоморфологической обусловленности говорилось в главе 12.

РОССЫПИ ДРЕВНЕГО АЛЛЮВИЯ, ЗАЛЕГАЮЩИЕ В ПРЕДЕЛАХ ДОЛИН, ФОРМИРУЕМЫХ СОВРЕМЕННЫМИ РЕКАМИ

Современные долины большинства рек имеют сложное строение. Следы иного высотного положения поймы и русла в виде древнего аллювия, заключающего в себе россыпи, наблюдаются на большинстве рек. Они лучше сохранились на крупных реках, довольно хорошо фиксируются на реках среднего размера — пятого — десятого порядков. В небольших долинах древний аллювий сохраняется хуже.

Было бы ошибкой считать, что история долины полностью отражена в ее террасах. Террасы с аллювием или без него, хорошо или плохо выраженные, разумеется, запечатлели определенные этапы развития долины. Однако далеко не все. Часть истории скрыта в погребенных формах рельефа на дне и в бортах речной долины. Часто, если не в большинстве случаев, зафиксированная в них часть истории развития долины представляет для поисков россыпей (и вообще для истории развития рельефа) основной интерес.

Древние россыпи в современных долинах разделяются на четыре вида: 1) террасовые; 2) террасоувальные, в том числе россыпи в довольно крутых бортах долин (крутизной 25—40°); 3) подувальные; 4) глубоких тальвегов, в том числе погребенных «каньонов».

Террасовые россыпи хорошо известны во всех районах. Мощность аллювия на низких террасах обычно нормальная или близка к ней. С высоких террас часть аллювия удалена склоновыми процессами. В горах на речных террасах выше 20 м аллювий сохраняется лишь в углублениях плотика. Отмечается иногда золотоносность самого плотика, но по большей части и плотик пострадал от денудации, а золото, приуроченное к нему, снесено на дно долины. Часть террасового аллювия неизбежно уничтожена в результате боковой эрозии, при формировании террас более низкого уровня и современной поймы.

Содержание полезного компонента в аллювии террас примерно такое же, как и в аллювии поймы. Некоторое отличие состоит в том, что во время формирования террасы глубина долины, а следовательно, и денудационный срез были меньше, чем в настоящее время. Поскольку почти во всех золотоносных и оловоносных районах современный денудационный срез меньше оптимального, в настоящее время питание россыпей золотом и оловом находится в лучших условиях, чем во время формирования высоких террас. Естественно, если в настоящее время денудационный срез избыточный, то картина обратная: террасовый аллювий получал лучшее «питание», чем аллювий современной поймы. Обычно влияние этого фактора маскируется другими, более существенными: уничтожением позднейшей эрозией наиболее богатых толщ террасового аллювия, разубоживанием в результате обильного поступления пустого материала.

Сохранился не весь террасовый аллювий. На геоморфологических картах большинства территорий видно, что площадь поймы больше, чем площадь любой из древних террас. Редко картина обратная. Так, «главная» 100-метровая терраса Шилки, Аргуни и других рек бассейна Амура выше Хабаровска нередко превышает ширину поймы. Ширина главной террасы Шилки и Аргуни достигает 2—5 км, так что ее иногда рассматривают как педимент. Главная терраса Шилки местами золотоносна.

При нормальной мощности террасового аллювия распределение в нем полезного компонента (и вообще минералов тяжелой фракции) по вертикали такое же, как и в аллювии поймы — максимум у «спая». Близко по величине и заглубление полезного компонента в плотик. Опробование и оценку содержаний и запасов легче осуществить для террасового аллювия, так как его легче наблюдать, чем аллювий поймы, поскольку наиболее богатые слои аллювия поймы лежат ниже уреза. Для разработки аллювия террасы требуются дополнительные затраты на подачу воды.

Террасоувал — это надпойменные террасы, слившиеся под воздействием склоновых процессов в единую наклонную поверхность (рис. 14.5). Россыпи, приуроченные к аллювию и частично склоновым образованиям — смещенному аллювию, относятся к террасоувальным. В склоновых образованиях террасоувала встречаются галька, песок и гравий, захваченные из подстилающего аллювия, перемешанные со щебнем и суглинком — продуктами разрушения коренных пород, слагающих борт долины выше террасоувалов. В ходе развития террасоувала аллювия на нем остается все меньше — он срезается перемещающимся по поверхности террасоувала склоновым материалом, включается в него и доставляется на пойму или в русло. Может случиться, что под единой наклонной поверхностью аллювий сохранился лишь на отдельных участках или полностью перемещен и включен в склоновые образования. В таком случае получается элемент рельефа, называемый коренным террасоувалом (см. рис. 14.5, Б).

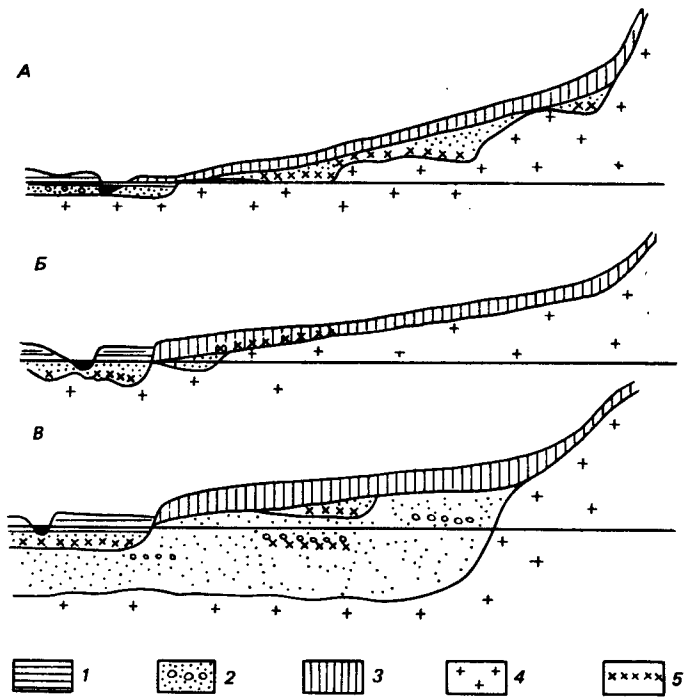


Рис. 14.5. Разновидности террасоувалов:
 А — террасоувал на цокольных террасах; Б — коренной террасоувал;
 В — террасоувал в рыхлых отложениях; 1 — пойменный аллювий; 2 —
 русловой и базальный аллювий; 3 — склоновые образования; 4 — корен-
 ные породы; 5 — повышенные концентрации золота

Многие исследователи Дальнего Востока (М. В. Пиотровский, Д. А. Тимофеев) пологонаклонные поверхности на дне долин — увалы и террасоувалы — рассматривают как долинные педименты. Действительно, эти наклонные поверхности внешне не отличаются от педиментов. Против предположения о том, что пологонаклонные поверхности на дне долин являются педиментами, говорит их строение: во многих случаях под 1—3-метровым чехлом склоновых образований залегает аллювий. Трудно объяснить с позиции сторонников педиментов и другой повсеместно наблюдаемый факт: террасоувал суживается с уменьшением размера водотока в той же позиции, что и ширина поймы. Если признать, что наклонные поверхности на дне — долинные педименты, то возможность нахождения россыпей в их пределах существенно уменьшается.

Особенности распределения полезного компонента в толще аллювия террасоувала такие же, как и в аллювии поймы. Полезный компонент может быть частично захвачен в ходе смещения материала по склону (дефлюкции или солифлюкции), и в разведочных поперечниках отчетливо можно наблюдать выдвигание россыпи — с субгоризонтальной поверхности плотика — на наклонную поверхность уступа, разделяющего террасы и сложенного коренными породами.

Изредка остатки аллювия обнаруживаются на относительно крутых (20—30°) склонах под чехлом рыхлых отложений. Однако назвать столь крутую поверхность террасоувалом или увалом было бы неудач-

но, поскольку под «увалами» на востоке Советского Союза обычно понимаются полого наклонные поверхности с углом склона менее 10° .

Подувальные россыпи и россыпи глубоких тальвегов были в значительной мере обнаружены и отработаны вместе с обычными долинными (т. е. пойменными) и террасовыми россыпями. Но обнаружить их совсем не так легко, как пойменные или террасовые. Подувальные россыпи залегают под чехлом склоновых образований, а иногда и аллювия террас, в результате слияния которых сформировался террасоувал (рис. 14.6). Подувальный аллювий принадлежит другому, более раннему, циклу врезания долины, чем аллювий террас, давших начало террасоувалу. При этом разведочные линии обнаруживают иногда погребение террасы, т. е. аллювий ранних циклов залегают на двух уровнях.

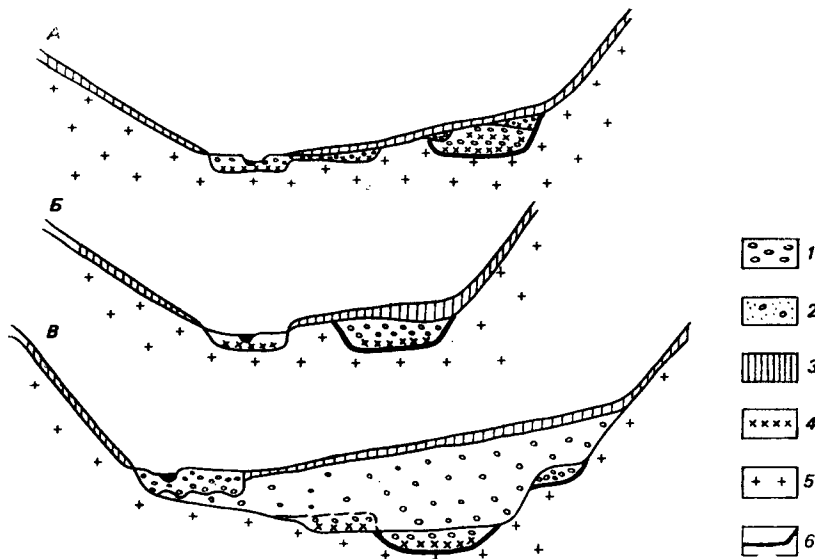


Рис. 14.6. Соотношение современной поймы и подувальных врезов:

А — подувальный врез выше уровня поймы; Б — то же на уровне поймы; В — то же ниже уровня поймы; 1 — аллювий поймы, террас и террасоуvalов; 2 — аллювий подувальных врезов и древних выполнений; 3 — склоновые образования; 4 — золотоносный аллювий; 5 — коренные породы; 6 — подувальные врезы

Для образования подувальных врезов с россыпями или без них обязателен этап накопления в долине констративного аллювия, после чего началось новое врезание с образованием ныне наблюдаемых террас и поймы. Накопление могло быть различным по размерам. Иногда удается установить, что на дне долин накапливались толщи до 100 и 150 м.

Большие мощности свойственны долинам рек во впадинах и депрессиях. На тех же реках на участках, не испытавших опусканий, мощности одновозрастных аккумулятивных образований меньше, хотя не всегда намного. Заметно меньше мощности на участках, где долины рек пересекают поднятия, но не везде эта разница значительна.

Во впадинах и депрессиях гораздо шире распространены по площади аккумулятивные аллювиальные, а иногда и озерно-аллювиальные

толщи. В более узких долинах терригорий, не испытывающих постоянного опускания, а относительно стабильных или испытывающих слабое поднятие, рыхлые толщи эпох аккумуляции, как правило, сохранились плохо. Поэтому может сложиться ложное впечатление, что накопления аллювия там и не происходило. Между тем накопление аллювия происходило и в пределах сужений долин между внутригорными впадинами. Но в узких долинах толщи констративного аллювия при последующем врезании довольно быстро уничтожались, в то время как в расширениях долин — во впадинах — широкие аккумулятивные террасы сохранились несравнимо лучше. Именно ширине аккумулятивных террас обязаны своей сохранностью аккумулятивные толщи, формировавшиеся во впадинах в четвертичном периоде и конце плиоцена. Несколько более интенсивное прогибание впадин за четвертичный период и конец плейстоцена играло второстепенную роль.

Действительно, деформации продольного профиля рек, пересекающих горные хребты и внутригорные впадины, в пределах горных систем Сибири и Дальнего Востока невелики. Проследивание террас вверх по Амуру и далее, по Шилке, Аргуни, Зее, Колыме и ее притокам, показывает, что даже террасы высотой 100—140 м деформированы сравнительно слабо, хотя и пересекают хребты и впадины. Миоценовые и раннеплиоценовые террасы испытали довольно существенные деформации.

Проследивание основания аллювиальных отложений через участки поднятий и опусканий также показывает отсутствие больших деформаций раннеплейстоценовых и позднеплиоценовых тальвегов. Наибольшая деформация верхнеплиоценовых террас на реках, пересекающих горные сооружения Сибири и Дальнего Востока, не превышает 100 м, а обычно не более 20—30 м. При таких порядках величин деформаций за последние 1,5—2,0 млн. лет за все время от начала эпохи активизации тектонических движений деформации должны достигать не более 1500 м. Это близко к величинам деформаций доолигоценовых поверхностей выравнивания в горах юга Сибири и Дальнего Востока (с высотами вершин хребтов до 1500—2500 м).

На участках относительно слабых поднятий глубина подувальных врезов часто больше глубины современного вреза. При этом на более крупных реках бурением установлено наличие погребенных террас (см. рис. 15.6, В). В большинстве случаев ширина и мощность аллювиальных толщ в подувальных врезав показывают, что водоток имел хорошо разработанную долину, пойма которой по ширине не уступала современной пойме.

В зависимости от особенностей долин, приуроченности к расширениям или сужениям по-разному сохранился аллювий подувальных врезов. Россыпи подувальных врезов наблюдаются также и там, где аллювия последующей аккумуляции сохранилось мало. В большей части аккумулятивный материал позднее был удален склоновыми процессами и водным потоком.

Если аккумулятивный материал, в основном констративный аллювий, еще хорошо сохранился, то чаще наблюдаются не россыпи подувальных врезов, а россыпи погребенных тальвегов. Строение долин с россыпями погребенных тальвегов показано на рис. 14.7. Мощность рыхлых отложений, скрывающих погребенные тальвеги, измеряется десятками метров, а в ряде случаев — даже 100 м. Часть аккумулятивных толщ может составляться склоновыми образованиями или аллювием, более молодым, а также водно-ледниковыми и ледниковыми отложениями. Под аккумулятивной толщей могут быть скрыты и ал-

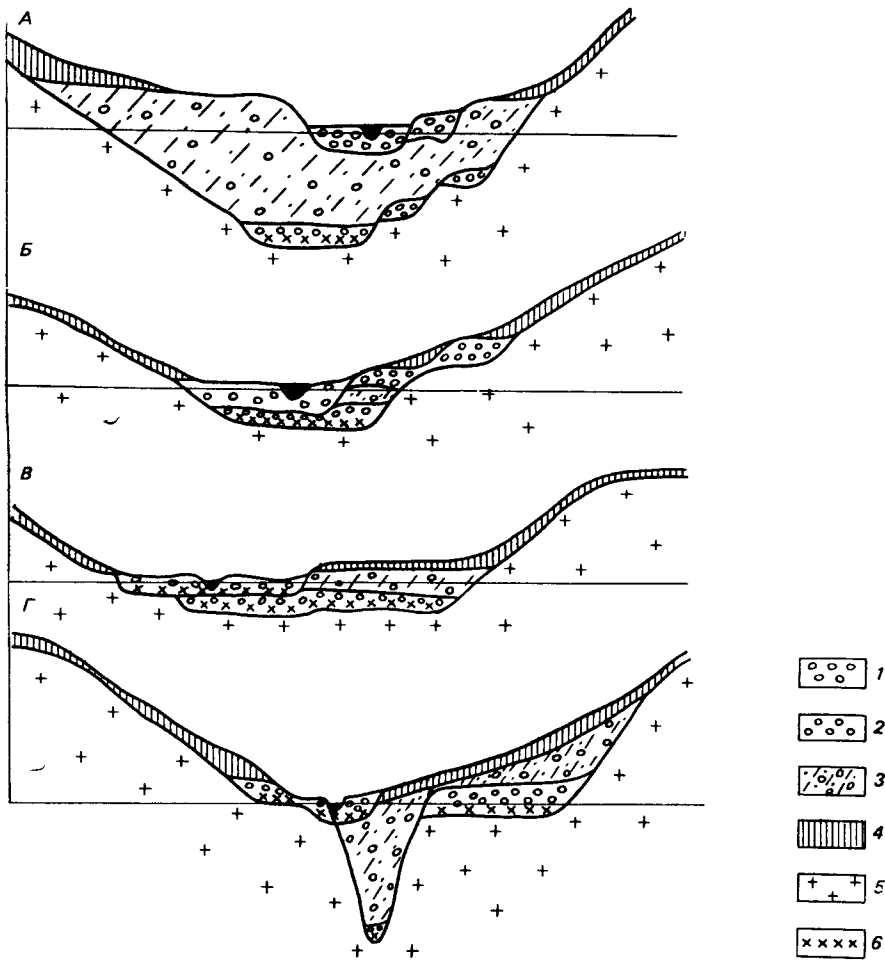


Рис. 14.7. Разновидности погребенных тальвегов:

А — полностью сохранившаяся погребенная долина с комплексом террас; Б — частично сохранившаяся погребенная долина; древний аллювий залегает под поймой, частично под террасой; В — частично сохранившаяся погребенная долина; древний аллювий залегает в основном под террасами; Г — относительно узкая и глубокая погребенная долина — «погребенный каньон»; 1 — аллювий поймы и террас; 2 — аллювий «погребенных тальвегов»; 3 — аллювий древних выполнений; 4 — склоновые образования; 5 — коренные породы; 6 — золотосные слои

лювий тальвега, и погребенные древние террасы (см. рис. 14.7, А).

В других случаях, при менее мощной аккумуляции, в ходе последующего углубления долин в коренных породах и в толщах контрастного аллювия сформировались и вложены в него более молодые террасы, под которыми скрыты остатки древнего контрастного аллювия, а под ним уже залегает представляющий главный интерес перстративный аллювий погребенного тальвега, к которому приурочена россыпь (см. рис. 14.7, Б).

Известны случаи, когда при незначительной аккумуляции аллювиальные отложения, одновозрастные отложениям погребенного тальвега, перекрыты лишь толщами склоновых образований, а в пределах пойменной части долины — только голоценовым аллювием. При этом

подошва последнего лежит всего на несколько метров выше подошвы древнего аллювия. Иными словами, уцелел от размыва маломощный слой древнего аллювия глубокого тальвега, представляющий самый существенный интерес. При этом затруднительно отличить в керне скважин древний аллювий от голоценового. Не всегда эти различия отчетливо видны в шурфах и даже в стенках карьеров (см. рис. 14.7, В).

Особую разновидность глубоких тальвегов представляют так называемые «погребенные каньоны» — узкие и относительно глубокие и крутосклонные эрозионные врезы, заполненные констративным аллювием. Они описаны для многих бассейнов. Их глубина 20—40 м. Наиболее высокие содержания приурочены к погребенному аллювию, лежащему на днище подувального вреза, довольно широкого. Эти днища и прорезаны погребенными каньонами. Дно последних очень узкое, а лежащий на нем аллювий также промышленно золотоносен, хотя содержания и ниже, чем в приплотиковом аллювии погребенной подувальной долины (см. рис. 14.7, Г).

Нередко наблюдаются сложные сочетания древних погребенных, в значительной мере размытых аллювиальных разновозрастных отложений: террасоувальных, подувальных, глубоких тальвегов.

Глава 15

РОССЫПИ РАЙОНОВ ДРЕВНЕГО ОЛЕДЕНЕНИЯ

Вводные замечания

Деятельность ледника по захоронению, разрушению и формированию россыпей

Ледниковые россыпи

Водно-ледниковые россыпи

ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Территории, покрытые ледниками, не представляют существенного интереса для поисков россыпей. В пределах районов, захватывавшихся оледенением, в прошлом известно немало промышленных россыпей. Ледники и талые воды способны формировать россыпи, уничтожать аллювиальные россыпи, сформированные до оледенения, и захоронить последние. Ледники и их талые воды могут переоткладывать материал доледниковых россыпей в толщину ледниковых (тилла) и водно-ледниковых отложений, создавая своеобразный промежуточный коллектор, из которого в дальнейшем реки могут сформировать аллювиальные россыпи. Подавляющее большинство промышленных россыпей ледниковых районов — аллювиальные россыпи, погребенные под толщами тилла и водно-ледниковых отложений. Многие из них пострадали от экзарации, хотя и сохранили промышленную ценность.

Анализ рельефа подобных ледниковых районов, как писал Ю. А. Билибин, при поисках россыпей может дать многое: «Для поисковика и разведчика является чрезвычайно важным умение на основании строения поверхности предугадать те особенности россыпей районов оледенения, с которыми ему придется столкнуться в своей работе».

Ниже мы рассмотрим основные моменты деятельности ледника и его талых вод по преобразованию рельефа, совершающемуся одно-

временно с формированием толщ рыхлых отложений. Главное все же не закономерности формирования ледниковых и флювиогляциальных россыпей, а закономерности сохранения и разрушения доледниковых россыпей.

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЛЕДНИКА ПО ЗАХОРОНЕНИЮ, РАЗРУШЕНИЮ И ФОРМИРОВАНИЮ РОССЫПЕЙ

Рассмотрение вопроса о роли ледников в формировании россыпей целесообразно начинать с ледников равнин и близким им по особенностям рельефообразующей деятельности ледников подножий и плоских вершин. Материковое оледенение захватывало огромные площади, и особенности деятельности ледниковых покровов и щитов изучены сравнительно хорошо. У ледникового щита могут быть выделены следующие зоны: преимущественного накопления льда, преимущественного транзита и абляции. В зонах питания и транзита преобладает послойно-пластичное движение льда. Благодаря проскальзыванию пластин одна по другой в толще льда возникает полосчатость — чередование полос плотного и пузырчатого льда. Пластины плотного льда возникают на плоскостях движения и плавления льда. По плоскости среза в толщу льда затаскиваются обломки подстилающих горных пород — формируется нижний горизонт «грязного» льда. В Гренландии и Антарктиде мощность «грязного» льда достигает первых десятков метров. При этом формируется плотная плитчатая или сланцеватая морена (тилл).

Ближе к краю ледника, в зоне абляции, где мощность ледника меньше, он насыщен обломочным материалом и пластичность его убывает. В зоне абляции ледник движется в основном под напором масс льда, подтекающих с «тыла» из зоны питания. Движение принимает в основном блоковый характер. Толща ледника распадается на чешуи, нижняя поверхность которых наклонена от края к центральной зоне. Движение чешуй напоминает движение горных пород по плоскостям надвигов с образованием зеркал скольжения, поверхностью волочения, растаскивания, брекчирования. Чередуются чешуи, образованные почти чистым льдом и сильно обогащенные мореной (тиллом). В ходе движения происходит захват крупных блоков подстилающих пород — отторженцев. Крупные отторженцы, захваченные ледниковыми щитами, представляют собой пластины горной породы до нескольких километров в длину при толщине в несколько десятков метров. «Средние» по размеру отторженцы имеют в длину сотни метров, а малые — 10—20 м. Захват отторженцев происходит у крутых уступов ледникового ложа, обращенных навстречу движению льда. Именно поэтому, например, отторженцы, захваченные на юго-западном склоне Валдайской возвышенности, представленные нижнекаменноугольными отложениями, слагающими крутой западный уступ «карбонового глинта». На значительных по площади поверхностях ледникового ложа экзарация ограничена, и в этих местах сохраняется доледниковая сеть долин. В зоне абляции экзарация ледника ослабевает или прекращается, сменяясь аккумуляцией материала.

Ослаблена экзарация и у ледников подножий. Особенности их движения в известной мере напоминают то, что наблюдается у покровных ледников в зоне абляции, т. е. экзарация, производимая ими, относительно невелика. О движении и рельефообразующей деятельности ледников плоских вершин сведений нет. Однако, проводя аналогию с

центральными частями ледниковых щитов, можно предполагать, что движение их льда происходит таким же образом, только из-за небольшой мощности давление на поверхность подстилающих коренных пород невелико. Поэтому их лед, как свидетельствуют наблюдения, слабо насыщен обломочным материалом.

Ограниченные орографическими барьерами выводные ледники Антарктиды и Гренландии движутся с очень большими (для ледников) скоростями. Они способны производить огромную работу по выпахиванию ложа и перемещению материала. Об этом свидетельствуют подсчеты выноса этими ледниками обломочного материала и разных айсбергами валунов и щебня на сотни километров от окончания выводных ледников.

Существуют более или менее обоснованные предположения и о том, что движение льда Балтийского и Канадского щитов определялось не только наклоном поверхности льда, но и неровностями ложа. В связи с этим и доледниковая долинная сеть в определенных местах оказалась полностью уничтоженной, в то время как на соседних территориях доледниковые долины сохранились почти полностью. Поэтому с соотношением направления движения льда и орографических элементов приходится считаться при оценке экзарированности древнего аллювия.

Следовательно, перекрытие территории льдами материкового оледенения или ледниками подножий (типа Маласпина) не может свидетельствовать об уничтожении ранее сформированных россыпей. В одних местах долинная сеть и ее аллювий могут сильно пострадать, а в других — остаться нетронутыми. Благоприятны для сохранения россыпей территории, расположенные близ краев ледников — в зоне абляции. Благоприятны для сохранения россыпей также территории внутри- и межгорных впадин, где накопление рыхлых толщ протекает в общем интенсивнее. Но и здесь отдельные участки россыпей могут быть выпаханы. В горах ледники ограничены склонами глубоких и нешироких долин. Значительный уклон поверхности льда и ложа ледника определяет быстроту движения льда горных ледников.

Вся совокупность агентов денудации в горах, захваченных оледенением, существенно отличается от того, что мы наблюдаем для покровных ледников. В последних питание ледника обломочным материалом, его денудационная деятельность определяются воздействием движущегося льда на ложе. У горных ледников это воздействие не меньше. Но, кроме того, горный ледник получает питание обломочным материалом и со склонов, возвышающихся над ним. Горный ледник большую часть обломочного материала получает за счет лавинного и обвально-осыпного сноса со склонов и меньшую — отрывает от своего дна. На равнинах площадь соприкосновения ледника с ложем приблизительно равна площади, находящейся в сфере оледенения. У горных ледников сам ледник занимает всего 1/5—1/10 часть той поверхности, с которой на него поступают снег и обломочный материал. Воздействие ледника на ложе сконцентрировано в сравнительно узких пределах. Питание ледников в горах благодаря в общем большому количеству осадков по сравнению с ледниками равнин также способствует экзарации. Концентрированность воздействия, уклон и обильное питание — факторы, определяющие интенсивную экзарацию горных ледников.

Движение горных ледников носит по преимуществу блоково-чешуйчатый характер. Лед горного ледника воздействует на ложе впамянным в него обломочным материалом. Мелкие обломки производят шлифующее действие, следствием которого служит оглаженность скал.

Крупные обломки остаются на скальных породах ложа борозды и царапины (ледниковые шрамы).

Близ концов горных ледников экзарация ослаблена или отсутствует, так как нижние горизонты льда перегружены обломочным материалом и малоподвижны. Зафиксировано, что после кратковременных продвижений и отступаний льда на освободившейся ото льда поверхности сохранялся даже травяной покров. Из этого факта, к сожалению, гляциологами делались выводы о том, что лед вообще не эродирует поверхность.

В англоязычной геоморфологической литературе принято считать, что величину эрозии горного долинного ледника следует оценивать по высоте устьевых ступеней, т. е. по тому, насколько «подвешены» устья малых долин над днищами главных долин, в которые они впадают. При этом обнаруживаются три особенности в распределении интенсивности экзарации в разных частях ледниковой долины. Во-первых, наибольшая высота устьевых ступеней (наибольшая интенсивность эрозии) отмечается в средней части долины, там, где мощность ледника была максимальной. Во-вторых, скальное ложе ледниковой долины имеет ступени (пороги, или ригели). В-третьих, интенсивность экзарации резко возрастает близ устьев крупных притоков и уменьшается близ поворотов трога.

Для горных районов с альпинотипным рельефом характерны специфические ледниковые формы: кары, трог, устьевые ступени. Кары или цирки — формы, созданные ледниками первого и второго порядка, редко третьего (если считать рядки ледников так же, как и водотоков). Для каров характерен ригель, т. е. обратный уклон у его устья. Кары формируются из снежниковых ниш и превращаются в них через некоторое время после отступления ледников. В отличие от снежниковых ниш они сформированы движущимся льдом. Кары многочисленны. Тут уместна аналогия с водотоками первого порядка (которых 55%). Кары занимают ведущее место среди форм ледникового рельефа гор. Наиболее низко расположенные кары формируются всегда в орографически обусловленных местах на несколько сотен метров ниже климатической снеговой границы. Они фиксируют «геоморфологическую снеговую границу». Если у флювиальных форм долины первого, отчасти второго порядков, как говорилось выше, отличаются специфической, то это еще в большей мере относится к ледниковым формам.

Троги — сравнительно узкие и крутосклонные долины, имеющие в поперечном сечении корытообразную форму. В их плановом рисунке отсутствуют резкие или коленообразные изгибы — повороты их всегда сглажены. Сочленение трогов, созданных ледниками разных размеров, осуществляется через устьевую ступень, высота которой зависит от разности мощностей главного и впадающего ледника (с учетом того, что в ходе оледенения мощность ледников менялась). Ледниковые формы возникали на месте эрозионных форм — долин низких порядков. Формирование ледниковых форм протекало длительное время, не за одну ледниковую эпоху. Кары, например, возникали на месте вершин флювиальной долинной сети — водосборных воронок, с образованием снежников они превращались в нивальные ниши, а затем в кары, когда снежники становились ледниками. При потеплении в межледниковую эпоху шел обратный процесс: кар превращался в нивальную нишу, а затем в водосборную воронку.

В горах, где оледенение в последние ледниковые эпохи было наибольшим и имелись каровые и небольшие долинные ледники, приходится иметь дело с очень сложной — «завуалированной» картиной.

Ледниковые формы максимального оледенения едва заметны. Они читаются в виде относительно расширенных и однообразных по ширине долин, спрямленных или плавно меняющих свое направление. Лишь под чехлом аллювия устанавливаются свойственные трогам «переуглубления» и неравномерный уклон ложа коренных пород. Морен почти не сохранилось, равно как и флювиогляциальных отложений. Однако постоянно отмечается повышенная валунистость (наличие валунов) аллювия. При этом попадают и «экзотические» валуны — ценнейший признак при реконструкции границ древнего оледенения.

Хотя в верховьях долин и отмечаются достаточно хорошо выраженные формы второго позднеплейстоценового оледенения (валдайского, сартанского, вюрмского, висконсинского), для территорий, лежащих вне его пределов, обычно говорится: «оледенение не установлено, хотя признаки его и есть». Это «не установлено» трактуется односторонне. Ведь если в верхнем ярусе гор установлено последнее оледенение, то в наши дни странно сомневаться в том, что в прошлом, во время максимальных оледенений, ледники спускались по горным долинам намного ниже. Их формы и отложения в основной массе уничтожены, но ледниками максимальных оледенений были разрушены или погребены доледниковые аллювиальные россыпи. Поэтому при соответствующей высоте гор надо устанавливать отсутствие оледенения в прошлом, а не его наличие. Речь, повторим, идет о полосе, прилегающей к площади, где позднеплейстоценовое оледенение фиксируется с достаточной степенью надежности. Поэтому при поисках россыпей на территориях, где поблизости (в более благоприятных для оледенения условиях) устанавливаются следы позднеплейстоценового оледенения, мы должны оценить рельефообразующее значение максимального (максимальных) оледенения. Это сделать непросто, но необходимо.

Надлежит иметь в виду, что волны похолодания на юге Русской равнины, в Западной Европе, в Северной Америке (Аляска, подножия Скалистых гор) отмечаются уже для времени 3—3,5 млн. лет назад. Отдельных ледниковых эпох, разделенных межледниковыми эпохами с климатом, близким к современному, было наверняка больше пяти-шести. Самыми значительными были оледенения ранне- и среднеплейстоценовые (давшие начало донскому и днепровскому «языкам» на Русской равнине). Их границы охватывают гораздо большие территории, чем занимало позднеплейстоценовое оледенение. Следы последнего геоморфолог распознает сравнительно легко. Задача состоит в том, чтобы определить границы воздействия на россыпи максимальных оледенений или хотя бы границу максимального распространения ледников.

В горах на высокоприподнятых поверхностях выравнивания, обладающих обычно останцово-сопочным или низкогорным рельефом, россыпи, как и на равнинах, сохраняются под чехлом рыхлых образований, в том числе ледниковых. Такую картину, например, можно видеть на Восточном Саяне, где разрабатывались аллювиальные россыпи, прикрытые чехлом морены.

Много шансов для возникновения россыпи в морене, сформированной ледником за счет «сгребания» доледникового аллювия. Такие промышленные россыпи немногочисленны, но есть. Они приурочены только к нижней части трога. На остальной его части происходило уничтожение доледникового аллювия. Наличие россыпи в морене связано, таким образом, не столько непосредственно с разрушением коренного источника, сколько с захватом ледником доледникового аллювия, содержащего полезный компонент. Поскольку ледник захватывает блоки породы и небольшими порциями подстилающие рыхлые отложения, не сразу их

перемешивая, в морене могут наблюдаться участки, обогащенные полезным компонентом.

ЛЕДНИКОВЫЕ РОССЫПИ

В данном разделе речь идет о россыпях в собственно ледниковых отложениях — морене, или тилле. В Ленском районе оледенение носило довольно широкие масштабы. Ледниковые формы рельефа сохранились, однако лишь в наиболее приподнятых хребтах и массивах, подвергавшихся позднеплейстоценовому оледенению. Морены и формы рельефа более мощных оледенений среднего и раннего плейстоцена в значительной мере уничтожены. Сохранились местами ледниковые отложения, озерные и флювиогляциальные илы и гравийники. Россыпей в моренах не отмечено. Упомянуется только, что в морене встречаются знаки золота. Не приводится и данных о распределении его содержаний в ледниковых осадках, хотя налицо следы выпаживания ледником древнего доледникового золотоносного аллювия. Часто промышленный пласт доледникового аллювия выпажан ледником нацело. Местами доледниковый аллювий сохранился (рис. 15.1).

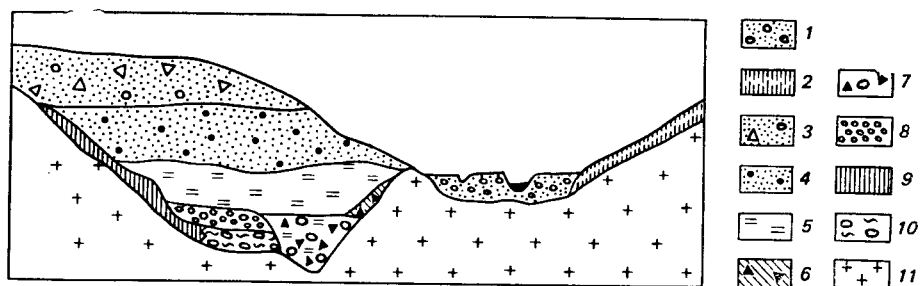
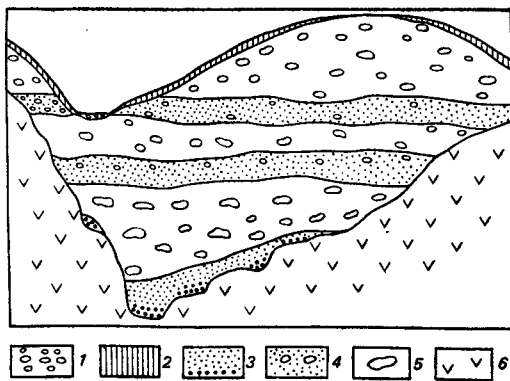


Рис. 15.1. Соотношение ледниковых, склоновых и аллювиальных отложений (по Ю. П. Казакевич и Н. А. Вашко):

1 — современный и верхнеплейстоценовый аллювий; 2 — верхнеплейстоценовые склоновые образования; 3 — верхнеплейстоценовые озерно-ледниковые пески; 4 — среднеплейстоценовые озерно-ледниковые илы; 5 — среднеплейстоценовые озерно-ледниковые илы; 6 — среднечетвертичные склоновые щебнистые суглинки; 7 — среднечетвертичные морены; 8 — среднечетвертичный аллювий; 9 — нижнечетвертичные склоновые образования; 10 — нижнечетвертичный аллювий; 11 — коренные породы

В Верхнеиндигирском районе ледник выпаживал доледниковые россыпи, затем в межледниковые эпохи морены перемывались реками, и формировались аллювиальные россыпи. Иными словами, золотоносность морен несомненна, но промышленных россыпей в моренах нет. Наиболее богаты золотом здесь доледниковые аллювиальные отложения, значительно менее богаты межледниковые и совсем незначительны россыпи в послеледниковом аллювии.

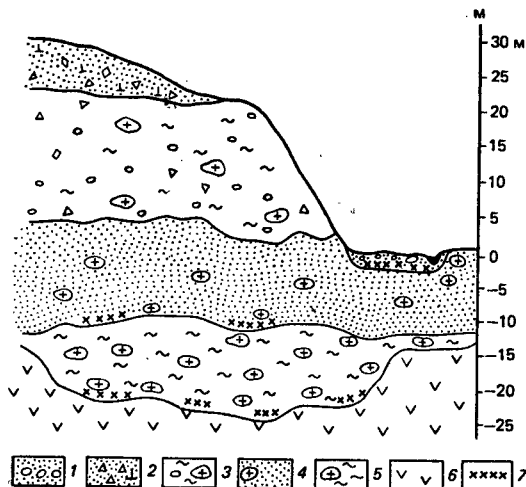
В бассейне Колымы на значительных территориях у подошвы наиболее высоких хребтов широко распространены аккумулятивные ледниковые формы рельефа. Эти хребты неоднократно подвергались оледенению. Аллювиальные россыпи скрыты под ледниковыми отложениями (рис. 15.2). Ледниковым россыпям уделяли внимание многие исследователи. Доля ледниковых россыпей в общей массе составляет по запасам десятки доли процента. В целом по Колымскому району на долю россыпей в морене приходится менее одной десятитысячной. Но все



же отмечается промышленно ценные участки в толще морен.

На рис. 15.3 приведен поперечный профиль древней до-

Рис. 15.2. Схематизированный поперечный профиль через погребенную долину ручья (по Ю. И. Гольдфарбу и Т. И. Капрановой, 1970): 1 — современный аллювий; 2 — склоновые образования; 3 — древний аллювий (галечники и пески); 4 — флювиогляциальные отложения (пески и галечники с валунами); 5 — морены (разновозрастные); 6 — коренные породы



лины, заполненной ледниковыми отложениями. На профиле хорошо видно, что пойма реки, сформированная современным водным потоком, еще не углублена до уровня доледни-

Рис. 15.3. Приуроченность повышенных содержаний полезного компонента в литологически различных толщах морены:

1 — аллювий верхнеледниковый; 2 — льдистый щепнистый суглинок; 3 — неслоистый валунный суглинок; 4 — неслоистая супесь с валунами; 5 — неслоистая иловатая супесь с валунами; 6 — коренные породы; 7 — участки с повышенным содержанием полезного компонента в различных отложениях

вой долины. Аллювий поймы имеет нормальную мощность и сильно валунист, поскольку водный поток не в состоянии перемещать ледниковые валуны объемом в несколько кубических метров. Приплотиковые слои аллювия обогащены тяжелой фракцией. Отчетливо видно, что водоток только еще начал формирование россыпи. На многих речках, где перемываемая морена богата полезным компонентом, уже сформировались промышленные россыпи. Однако большая часть моренной толщи еще не размыта. Лучше сохраняется более древняя морена, очевидно максимального оледенения, частично разрушенная в межледниковые эпохи. Поверх нее лежит верхнеплейстоценовая морена, сильно песчанистая, включающая в большом числе крупные валуны.

Тяжелой фракцией обогащены также и придонные горизонты нижней морены за счет сдираания доледникового аллювия. Однако и в вышележащих слоях морены имеются обогащенные тяжелой фракцией участки, не выдержанные ни по поперечнику, ни вдоль по долине. По всей толще нижней морены постоянно отмечаются «знаки» полезного компонента. Редкие зерна последнего имеются и в верхней морене. Здесь их гораздо меньше, а участков с валовыми содержаниями полезного компонента почти не отмечается. Это объясняется тем, что позднплейстоценовые ледники были меньше ледников максимального оледенения и лишь в немногих местах молодые ледники соприкасались

с доледниковым аллювием и могли захватить из него полезный компонент. В отличие от максимальных позднеплейстоценовые ледники двигались или по уже эродированному дну долины, или же по морене ледника максимального оледенения. Они разрушали лишь россыпи, возникшие в межледниковые эпохи, и немного пополнялись тяжелыми минералами за счет перемыва материала, поступающего на их поверхность со склонов.

В крупных трогах наблюдаются еще сохранившиеся от размыва мощные толщи ледниковых и флювиогляциальных отложений. В них обломочный материал, вынесенный из разных частей бассейна питания, сравнительно хорошо перемешан. При размыве в минувшие межледниковые эпохи относительно бедных, хотя и мощных, моренных толщ было меньше шансов для возникновения россыпей с высокими содержаниями полезного компонента. Наоборот, при размыве морен в долинах водотоков второго, третьего и отчасти четвертого порядка, где преобладал «местный» материал, было больше шансов возникнуть новой аллювиальной россыпи.

Таким образом, ледниковые отложения редко представляют промышленный интерес. В зонах экзарации древние россыпи уничтожены, но в приконцевой зоне ледников — зоне их абляции — экзарация была незначительной, и древний аллювий оказывается не уничтоженным, а погребенным. Включенный в морену материал из древних аллювиальных толщ нередко служит промежуточным коллектором. Продуктивный аллювий (россыпь), возникающий при его размыве, отличается валунистостью.

ВОДНО-ЛЕДНИКОВЫЕ РОССЫПИ

Значение талых ледниковых вод для формирования россыпей или уничтожения ранее сформированных россыпей изучено довольно плохо. То, что известно, не дает оснований для положительной оценки их деятельности — для обоснования предположения о концентрации в водно-ледниковых отложениях минералов высокого удельного веса в определенных частях их разреза.

На равнинах и плоскогорьях — в границах материкового оледенения — водно-ледниковые отложения разнообразны и пользуются даже большим распространением, чем морены. Это пески и гравийники, слагающие обширные зандры равнин или долинные зандры, камовые пески, мощные линзы ленточных суглинков, супесей и глин, а также галечники и валунники, слагающие озы. Как строительный материал пески и галечники представляют большую ценность, но россыпей в них до сих пор не обнаружено.

В горных районах флювиогляциальный материал представлен в основном галечниками, валунниками, гравийными песками и реже суглинками, супесями, мелкозернистыми песками. Делались попытки различать по форме и ориентировке галек, отложены ли галечники талой ледниковой или просто речной водой. Но быстро и надежно отличать аллювиальную гальку от водно-ледниковой пока не удается. Зато строение аллювиальной толщи — наличие определенного взаиморасположения в разрезе образующих ее фаций — позволяет отличать ее от водно-ледниковых отложений. Правда, только перстративный и инстративный аллювий отличаются отчетливо фиксируемым взаимоотношением фаций. Констративный же аллювий по своему строению довольно близок к флювиогляциальным отложениям. Накапливались водно-ледниковые осадки намного быстрее, чем речные констративные отложения.

Мало где удается наблюдать перемены и переотложения в водно-ледниковых осадках. Очень редки поэтому линзы и ленты отложений, содержащих в повышенных количествах тяжелую фракцию. Слоев, близких по своему образованию и строению к базальному горизонту аллювиальных толщ, в водно-ледниковых осадках мы не находим. Между тем именно особенности формирования базальной фации речного аллювия служат основной причиной повышения концентрации тяжелой фракции, т. е. причиной формирования россыпей.

Логически вполне возможно представить несколько случаев формирования россыпей в водно-ледниковых отложениях. Обогащение тяжелой фракцией может происходить, во-первых, у конца ледника, где ледниковый транспорт сменяется водным; во-вторых, по боковым границам долинных ледников — в маргинальных каналах; в-третьих, по периферии ледников подножий.

У конца ледника происходит отложение ледником перенесенного им материала — образуется конечная морена. Ее материал перемывается водой. Тонкий и легкий материал уносится, грубый материал выветривается, и продукты выветривания, в свою очередь, подвергаются перемыву талыми водами ледника. На место перемытого материала ледник доставляет все новые порции обломков разных размеров, и они вновь и вновь разрушаются и перемываются. Казалось бы, у конца ледника должны сформироваться толщи, обогащенные минералами тяжелой фракции.

В действительности обогащения тяжелой фракцией флювиогляциальных отложений близ концов ледника не наблюдается. Этот факт можно объяснить двумя причинами. Положение конца ледника неустойчиво, оно постоянно меняется. Вспомним про «малую ледниковую эпоху» середины прошлого столетия. Вспомним, например, что перевалы в Западных (Приморских) Альпах были открыты в начале нашей эры, и по ним смогли пройти войска Ганнибала. Но через несколько столетий — в средние века — они оказались закрыты ледниками и освободились от них только 300—400 лет назад. Периоды колебания края ледника неодинаковы по масштабам: выделяются эпохи и стадии оледенения, колебания еще более мелкие — осцилляции края — с периодом в тысячи и сотни лет. О значительности климатических изменений в послеледниковое время говорит то, что во время атлантического потепления (6000—9000 лет назад) граница леса в горах поднималась на 200 м выше современной. Такое же изменение высотного положения испытывала снеговая линия, т. е. в это время происходило существенное сокращение ледников, уменьшалась активность флювиогляциальных вод, и за счет размыва отложений ледникового комплекса формировались аллювиальные отложения.

Кроме того, горный ледник начинает таять даже не в зоне абляции, но и значительно выше — там, где еще превалирует накопление фирна. В течение года область таяния меняет размеры и положение. Всем известно увеличение расходов ледниковых рек и ручьев в вечерние часы по сравнению с утренними. Снеговая граница меняет свое положение и в течение суток, и в течение года. Таким образом, область, в пределах которой начинается перенос минеральных частиц не ледником, а водными потоками, рассредоточена по большой площади и наибольшей интенсивности достигает то в одном, то в другом месте даже при относительно стационарном положении конца ледника.

Формирование россыпей в маргинальных каналах — так же, как и у концов ледников, — по внешним признакам выглядит достаточно вероятным. Действительно, если имеется на склоне богатый коренной

источник (месторождение или ряд крупных рудопроявлений), со склонов к леднику неминуемо должен сноситься материал. Водный поток, протекающий по маргинальному каналу, перемывая его, как будто бы может создать высокие концентрации. В действительности россыпи маргинальных каналов не известны. Причина этого — неустойчивость боковой границы ледника, а главное — краткость времени, в течение которого могла формироваться россыпь маргинального канала.

Наконец, третий вариант формирования россыпи тальми ледниковыми водами: у края ледника подножий. Этот край может быть относительно устойчив в том случае, если ледник образует расширение во внутригорной впадине и граница проходит по горному обрамлению впадины. Приведем конкретный пример.

По периферии небольшой — 15—20 км в поперечнике — внутригорной впадины, расположенной у подножия высоких горных хребтов, относительно длительное время располагался край ледника, именно в этом месте было установлено несколько промышленных россыпей, скрытых под чехлом склоновых ледниковых и водно-ледниковых отложений общей мощностью 20—65 м. Приуроченность к борту впадины и границе распространения отложений ледникового комплекса не вызвала сомнений. Россыпи сформировались в долинообразных углублениях коренного ложа, расположенных нормально или под некоторым углом к краю впадины и ледника. Это давало основания предположить, что первоначально был создан мощный промежуточный коллектор в отложениях ледникового комплекса у края ледника. Затем, при отступании ледника и понижении его поверхности, флювиогляциальные потоки прорезали толщу ледниковых отложений и врезались в коренные породы, сформировав при этом россыпи. При новом наступлении ледника россыпи были погребены под ледниковыми и водно-ледниковыми отложениями.

Однако знакомство с рыхлыми отложениями в природе (по многочисленным добычным штольням и штрекам) показало, что перед нами обычный аллювий с хорошо фиксируемыми фациями. В старичной фации местами можно было отчетливо наблюдать погребенные заломы из стволов лиственницы и белокорой березы до 40—60 см в диаметре. Такие деревья не могли расти у края ледника. Соотношение фаций, характер аллювия и остатки стволов деревьев заставили отказаться в данном случае от флювиогляциальной гипотезы происхождения россыпей на периферии внутригорной впадины. Обогащенность полезным компонентом полосы оказалась связанной с мощной зоной разлома шириной 300—350 м, ограничивающей впадину. Однако в непосредственной близости, хотя и в меньшем масштабе, оказался справедлив вариант водно-ледникового происхождения россыпей.

В целом, оценивая возможность образования флювиогляциальных россыпей, следует признать незначительность шансов их обнаружения. Для ледниковых районов доля флювиогляциальных россыпей составляет около 1%. Это несколько завышенная оценка, так как основанием для отнесения галечников, с которыми связаны россыпи, к флювиогляциальным отложениям служит только то, что они зажаты между двумя моренами. Но между моренами может залегать и обычный аллювий.

Подведем итог. Во-первых, по имеющимся данным, в районах, захватывавшихся древним оледенением, роль моренных и флювиогляциальных россыпей весьма незначительна — не более чем десятые доли процента. И даже эта ничтожная доля преувеличивает значение ледниковых россыпей. Правда, приводятся сведения о ледниковых россыпях в Канаде, Новой Зеландии и даже на Памире, но эти данные не всегда

конкретны. Во-вторых, в зоне абляции древнего ледника под толщей ледниковых отложений часто бывают скрыты аллювиальные промышленные россыпи. В-третьих, в зоне накопления льда (в пределах древнего оледенения) экзарация срезает ложе и уничтожает россыпи. В переходной полосе россыпи могут быть уничтожены экзарацией лишь частично. В-четвертых, захват ледником материала россыпи приводит к формированию промежуточных коллекторов, из которых в последующем формируются россыпи. В-пятых, при определении границ оледенения и, следовательно, полного или частичного уничтожения россыпей, необходимо учитывать плохую сохранность следов максимальных оледенений. В то же время область позднеплейстоценового оледенения может и не захватывать интересующий район. В нем, возможно, было только максимальное оледенение, частично или полностью уничтожившее доледниковые аллювиальные россыпи.

Глава 16

МОРСКИЕ РОССЫПИ

Источники формирования морских россыпей

Области накопления морских россыпей

Способность обогащения морских отложений

Механизм образования морских россыпей

Характеристика полезных компонентов морских россыпей

Трансгрессивно-регрессивные этапы формирования россыпей шельфа

Геоморфологические и литодинамические критерии поиска морских россыпей

Морскими называют россыпи, образовавшиеся в береговой зоне или на морском дне под действием волн, течений¹. По возрасту их подразделяют на современные (в пределах береговой зоны) и древние, расположенные на прибрежной террасированной равнине или на дне моря.

Условия образования морских россыпей в значительной степени отличны от континентальных, хотя и имеют с ними некоторое сходство. Кроме однонаправленных водных потоков в морских условиях действует волнение, в результате которого происходят разрушение берега (развиваются процессы абразии), перемещение продуктов разрушения горных пород и их аккумуляция. При волнении осуществляется и направленное перемещение твердого вещества в виде потоков наносов береговой зоны, в ходе естественной дифференциации и сепарации наносов формируются россыпи. На развитие береговой зоны влияет также соотношение волноэнергетических характеристик с распределением уклонов дна и морфологией субаквального рельефа. От этих показателей зависят степень взаимодействия морского волнения с дном, особенности трансформации и диссипации волновой энергии, избирательность процессов абразии и аккумуляции, строение россыпей.

Формирование собственно морских россыпей происходит при наличии источников поступления полезных компонентов в условиях, благо-

¹ В силу ряда объективных причин (местонахождения относительно уровня океана, специфичных условий их поиска, разведки и разработки) вне зависимости от происхождения в практике все россыпи, обнаруженные на шельфе, в прибрежной зоне и в пределах побережий, называют морскими.

приятных для их переработки, транспорта, дифференцирования, сепарирования и концентрации, а также если имеются места, удобные для накопления и сохранности генетически морских россыпей по морфологическим, гидро- или литодинамическим факторам. К таковым можно отнести участки с гидродинамически активным режимом, зоны дивергенции и конвергенции рефракции волн, береговые (прибрежные) стоковые или градиентные течения, циркуляционные ячейки, зоны диссипации или активизации волновой энергии, а также другие зоны с аномальными гидродинамическими явлениями в придонном слое, возникающими на разных глубинах подводного склона (типа внутренних волн, суспензионных потоков и др.).

Немаловажны при формировании морских россыпей морфологический показатель состояния береговой зоны, конфигурация изрезанности береговой линии, характеристика подводного склона, наличие подводных препятствий, преграждающих путь волновым потокам и вдольбереговым течениям: бухт, непропусков в виде далеко выступающих мысов или перехватов, роль которых выполняют подводные каньоны, приустьевые лотки стока речных вод, поперечные ложбины разрывных течений, тектонические провалы, пересекающие подводный склон в поперечном направлении. Именно с конфигурацией береговой линии и ориентацией ее к направлению волноэнергетической равнодействующей связано образование аккумулятивных форм свободного, замыкающего или причлененного типов: косы, бары, формы заполнения входящих углов, томболо и другие, в которых могут образовываться россыпные тела.

ИСТОЧНИКИ ФОРМИРОВАНИЯ МОРСКИХ РОССЫПЕЙ

Источники поступления полезных компонентов в морские россыпи разнообразны. Их можно классифицировать по петрографическому составу горных пород и литологии рыхлых отложений, по генетической принадлежности и морфологии первичных образований, а также по механизму подачи исходного металлоносного обломочного материала к месту концентрации. Если первые два фактора действуют однотипно при образовании россыпного тела и влияют в основном на состав полезных компонентов, то в последнем случае механизм подачи продуктивных наносов к месту их обогащения и локализации имеет ряд специфичных черт в отличие от процессов, протекающих на суше. В данном случае береговая зона моря является абсолютным базисом эрозии для водотоков, впадающих в бассейн, а сам морской бассейн превращается в водоем конечной аккумуляции. И вполне естественно, что весь терригенный обломочный материал с суши по речным артериям сгружается в виде твердого стока в береговую зону моря. Безотносительно к волновым процессам и действию прибрежно-морских течений поле разноса речных наносов определяется мощностью водотока, его модулем стока и степенью затухания стоковых течений при вторжении в морскую водную среду. Последующее перераспределение и перенос терригенного материала, поступающего с твердым стоком, осуществляется под действием морских процессов волнами и течениями.

Другим источником поступления россыпеформирующего материала являются морские берега и дно. В результате абразии берег разрушается и обломочный материал берегоформирующих пород поступает в прирезцовую зону или попадает на подводный береговой склон. В результате дальнейшей волновой переработки происходят его измельчение и перенос к областям аккумуляции.

Часть материала подается в береговую зону в процессе донного размыва. Ярким свидетельством существования донных источников поступления материала на берег служат пляжи, валы и бары, сложенные ракушечными отложениями.

Некоторую статью бюджета наносов береговой зоны пополняют склоновые, в особенности обвальнo-осыпные отложения, широко развитые на берегах абразионно-денудационного типа. Сгрузка обломочного материала происходит по лоткам камнепадов, кулуарам, плоскостям скола и отседания, а также в виде делювиального сноса и пролювиальных выносов. Склоновые отложения на таких берегах составляют большую часть обломочного материала, поступающего в прибрежную зону. В целом для Мирового океана объем твердого стока значительно превышает поступления осадков от абразии (4/5 части осадочного материала поставляют только крупнейшие реки). Однако при оценке балансовых составляющих следует учитывать тот факт, что россыпи полезных компонентов приурочены в основном к водотокам малых порядков.

В береговой зоне обломочный материал испытывает некоторую раздельную локализацию. Наносы твердого стока преимущественно накапливаются в бухтах, служащих ловушками для осадков береговой зоны, а склоновые отложения и продукты абразии питают аккумулятивные формы заполнения неровностей береговой линии — «карманных» пляжей — и участвуют в формировании осадочного чехла на подводном береговом склоне открытых участков побережья.

На темпы абразии берегов влияют гидродинамические параметры примыкающей акватории, морфология берега и прочностные характеристики берегоформирующих пород и рыхлых отложений, а также климатические условия. Например, в зоне распространения мерзлотных явлений скорости разрушения берега в результате действия термоабразии выше, чем на берегах умеренной зоны. Высокие скорости размыва характерны для берегов, сложенных рыхлыми отложениями, — до десятков метров в год. В значительно меньшей степени изменяются скорости абразии берегов в зависимости от состава коренных пород. Например, для прочных кристаллических пород скорости абразии не превышают 2 мм/год, для изверженных пород типа вулканических туфов или игнимбритов — около 8 мм/год. Таким образом, состав пород и их прочность определяют избирательность действия абразии и локализацию источников поступления продуктов абразии в процессе россыпеобразования.

ОБЛАСТИ НАКОПЛЕНИЯ МОРСКИХ РОССЫПЕЙ

В зависимости от объемов поступления обломочного материала и условий его отложения в море выделяют области нормальной, ограниченной и повышенной аккумуляции и дефицита наносов. Типичным примером применительно к образованию россыпей золота служат данные Л. П. Кашеева и др. (1971). Область нормальной аккумуляции прослеживается от уреза (пляжа) до глубины 6—10 м. Многометровая толща отложений имеет сложное строение в разрезе. В ней представлены песчано-гравийно-галечные осадки с редкими валунами, подстилающиеся глинистыми и песчано-глинистыми слоями с включениями крупной гальки и валунами. В приплотиковой части количество глины увеличивается.

Ограниченная аккумуляция наблюдается до глубины 25—27 м. Осадочный чехол маломощный (до 4—5 м) и залегает на коре выветривания гранитоидов. Преобладают алевроито-песчаные фракции, пере-

слагающиеся с песчано-гравийными пропластками, насыщенными обломками раковин пелеципод и хорошо окатанной галькой. Низ толщи до коры выветривания занимают плотные темно-серые глины. В пределах этой области прослежены абразионные уступы, выработанные на выходах коренных пород, в частности гранитоидов, «просвечивающихся» из-под чехла рыхлых отложений.

Область повышенной аккумуляции осадков приурочена на мелководье к зонам волновой тени, где отлагается значительная часть терригенного материала, выносимого в море реками. Осадочная толща имеет относительно простое строение в разрезе, т. е. сверху вниз наблюдается смена тонко- и среднезернистых илистых песков разнозернистыми (в средней части разреза) и грубозернистыми (в низах) илистыми песками с гравием, галькой и остатками морской фауны. Видимая мощность пачки отложений — несколько метров. Другая область повышенной аккумуляции наносов обнаружена на глубинах 30—35 м и совпадает с древним руслом, четко вырисовывающимся в подводном рельефе. Здесь накапливаются в основном тонкие пелиты темно-серого и черного цвета с обильными органическими примесями.

Область дефицита наносов прослеживается на глубинах от 6—8 до 23—25 м. Она расположена в пределах действия сильных течений. Наносы на абразионной поверхности дна отсутствуют и лишь в редких случаях заполняют западины, причем в нижней части осадочной толщи (0,5—1,5 м) сохранились выветрелые (до состояния дресвы) гранитоиды. На отдельных участках дресвяники перекрыты тонким слоем (5—10 см) крупных песков.

Источниками золота в морских отложениях являются коренные породы и аллювиальные отложения. Коренные породы с золоторудными проявлениями вскрываются в 10 км от берега и дренируются истоками реки, впадающей в море. В свою очередь, аллювиальные отложения как промежуточный коллектор поставляют золото при выносе в море аллювия и при абразии берега, сложенного этими отложениями. Наибольшее содержание золота выявлено в области дефицита наносов, здесь оно в десятки раз больше, чем в среднем по всем пробам.

В области ограниченной аккумуляции золото установлено во всей толще, включая подстилающие ее аллювиальные отложения. В области нормальной аккумуляции золото содержится в глинистых отложениях. Его распределение имеет структурный характер. Менее всего обнаружено золота в области повышенной аккумуляции, причем современные глинистые отложения вообще его не содержат.

СПОСОБНОСТЬ ОБОГАЩЕНИЯ МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

К. В. Яблоков приводит сведения, характеризующие комплексное строение морских и континентальных отложений, вскрытых вибробурением на шельфе моря, и распределение в них тяжелой фракции. Верхнюю часть вскрытой толщи (около 1,5 м) слагают слоистые пески, меняющие с глубиной гранулометрическую крупность и цвет от мелко- и среднезернистых темных желтовато-серых (иногда с зеленоватым отливом, мощностью 0,3—0,7 м) до светлых крупнозернистых, обогащенных обломками ракуши (мощностью 0,3—0,8 м), ниже которых лежит слой мелко- и среднезернистых песков без ракуши (0,2—0,5 м). По контакту размыва к нему примыкает снизу тонкий (до 0,4 м) слой желтовато-серых глинистых плохосортированных песков, содержащих гнезда, линзы и прослои коричневатобурых торфов и древесных растительных остатков. Вся толща подстилается разнозернистыми плохо-

сортированными неравномерно окрашенными песками, включающими прослой и линзы гравия, грубозернистого песка и желтоватого суглинка. В морских отложениях по сравнению с континентальными содержание минералов тяжелой фракции возрастает почти в два раза. Если в континентальных отложениях содержание тяжелых минералов колеблется в пределах от 2 до 3%, то в морских отложениях оно составляет около 6%.

Это очень важный показатель, который характеризует морские отложения как более перспективные на россыпи по способности обогащения. По-видимому, условия седиментации прибрежной зоны в морских бассейнах более благоприятны для формирования концентраций полезных минералов, чем на континенте.

Весьма интересны в этом отношении также показатели соотношения средних процентных содержаний минералогических компонентов тяжелой фракции в морских и континентальных отложениях (табл. 16.1).

Таблица 16.1 Сравнительный анализ средних содержания компонентов тяжелой фракции данных таблицы указывает прежде всего на общность вещественного состава морских и континентальных отложений при повышенных содержаниях минералов тяжелой фракции в морских осадках и преобладании в них количества акцессорных минералов (сфена, монацита, циркона, магнетита, граната, турмалина). По-видимому, рост содержания тяжелой фракции вызван перемывом континентальных толщ и формированием за их счет морских осадков. При этом происходило дополнительное обогащение концентраций полезных минералов, имеющих в континентальных размывающихся слоях.

| Компонент | В морских осадках | В континентальных осадках |
|------------------------------------|-------------------|---------------------------|
| Амфиболы | 15—20 | 20—30 |
| Биотит хлоритизированный | 5—8 | 1—2 |
| Эпидот-диопсид | 10—15 | 2—5 |
| Пироксены | 5—8 | 30—35 |
| Сульфиды | 1—3 | 10 |
| Магнетит | 5—15 | 1—5 |
| Ильменит | 1—2 | 5—8 |
| Карбонаты | — | 10 |
| Лейкоксен | 3—5 | 5—10 |
| Гранат | 10—12 | — |
| Циркон | 8—10 | — |
| Сфен | 3—5 | — |
| Монацит | 3—5 | 5—10 |
| Турмалин | 5—10 | — |
| Касситерит | 0,02 | — |
| Золото | есть | — |

МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ МОРСКИХ РОССЫПЕЙ

Механизм образования морских россыпей имеет определенные специфические черты, поскольку непосредственно связан с движением наносов, обусловленным волновыми процессами (Аксенов, 1972).

1. Волновые движения воды определяют процессы разрушения горных пород, движение и истирание их обломков, в том числе и массовые перемещения наносов.

2. Движение наносов определяется сочетанием орбитальных скоростей прямого переноса (к берегу) и скорости орбитальных компенсационных движений воды.

3. Изменение надводной части береговой зоны непосредственно зависит от процессов, происходящих в ее подводной части.

4. Обязательным условием динамического равновесия является асимметрия придонных скоростей.

Из приведенных фактов следует, что образование морских россы-

лей происходит в процессе гранулометрической дифференциации и минералогической сепарации вещества, поступающего в гидродинамически активную зону.

Гранулометрическая дифференциация обломочного материала приводит в морских условиях к относительно однозначному распределению частиц в береговой зоне при выработке профиля равновесия, как это часто наблюдается в бухтах. Пляж и приурезовая зона сложены валунами и галькой с гравийно-песчаным накопителем. В зоне валов и на их мористой внешней части наблюдаются крупно- и среднезернистые пески, сменяющиеся на больших глубинах мелкозернистыми песками и алевритовыми илами. Аномалии в виде встречающихся на больших глубинах (свыше 20 м) валунно-галечных полос представляют реликты древних береговых линий и не имеют ничего общего с особенностями современной гидро- и литодинамики побережья.

Наряду с механической дифференциацией частиц происходит их минералогическая сепарация. В результате в разных гранулометрических фракциях сохраняется определенный вещественный состав частиц. Например, среди тяжелых минералов в мелкозернистых песках (0,10—0,25 мм) преобладают акцессорные (сфен, циркон, рутил, монацит, турмалин, гранат), а породообразующие (амфиболы и пироксены) находятся в подчиненном количестве. В среднезернистых песках (0,25—0,5 мм), наоборот, больше породообразующих. В крупных песках (0,5—0,1 мм) присутствуют в основном легкие минералы, из тяжелых представляют пирролизит, гематит, лимонит, а также гранат, роговая обманка и обломки пород.

Таким образом, обнаруживается приуроченность акцессорных минералов к определенным гранулометрическим фракциям донных осадков, соответственно и глубинам. Однако на вещественный состав осадков во многих случаях влияет не только геологическое строение берегоформирующих пород, но и морфология берега. И если в бухтах наблюдается четкая связь вещественного состава коренных пород берега с минералогическим комплексом донных осадков, то на открытых участках такой четкой зависимости нет, поскольку значительные коррективы могут быть внесены действием протяженных вдольбереговых потоков наносов. На участках открытых побережий наряду с типичными для данного района могут быть встречены минералы, не характерные для местных берегоформирующих пород.

Смещение максимального накопления тяжелых минералов происходит от участков размыва (вершина пляжа и мористый склон внешнего подводного вала) и поступления обломочного материала к участку аккумуляции — подошве внешнего вала — и глубже по подводному склону.

По литодинамическим характеристикам для образования россыпей благоприятны зоны размыва, где остаются весьма тяжелые минералы (золото, касситерит), участки транзита наносов с избирательной сепарацией и выпадением из потока тяжелых минералов среднего удельного веса (магнетит, ильменит, рутил, циркон и т. д.) и места дистальных окончаний аккумулятивных образований, в которых накапливаются легкие минералы — компоненты, обладающие наименьшей гидравлической крупностью из группы тяжелых минералов.

Механизм накопления продуктивных наносов в прибрежной зоне во многом зависит от гидродинамического режима. Начальная дифференциация частиц наступает под действием слабого волнения. При размыве осадочной толщи будут выноситься мелкие частицы и легкая фракция. Тяжелые минералы накапливаются непосредственно в зоне

литания (рис. 16.1, А). При сильном волнении в условиях активного воздействия тяжелые минералы, уже частично обогащенные, вовлекаются в поток и осаждаются при появлении благоприятных условий на другом участке (рис. 16.1, Б). Такой момент может наступить при изменении параметров волнения или емкости транспортного вдольберегового потока наносов, вызванного сменой ориентировки береговой линии по ходу потока. Однако резкое падение емкости потока приводит к общему осаждению взвешенных частиц и не способствует формированию промышленных россыпей.

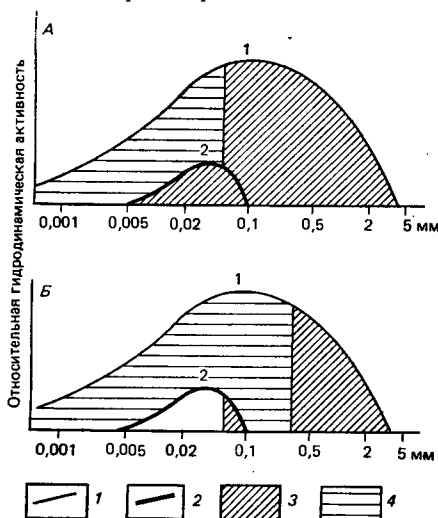


Рис. 16.1. Изменение содержания тяжелой фракции при размыве продуктивных отложений при слабом (А) и сильном (Б) волнении (по С. Е. Саксу и А. Е. Смолдыреву, 1971): 1 — легкая фракция; 2 — тяжелая фракция; 3 — объем в остатке; 4 — объем вынесенного материала. Соотношение вертикальных масштабов изменено

Однако резкое падение емкости потока приводит к общему осаждению взвешенных частиц и не способствует формированию промышленных россыпей.

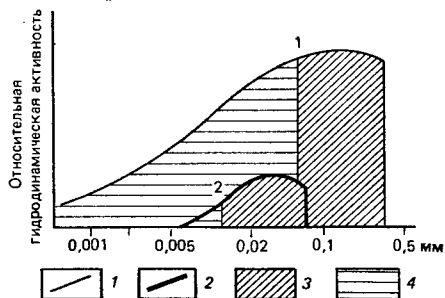


Рис. 16.2. Накопление тяжелой фракции при осаждении (по С. Е. Саксу и А. Е. Смолдыреву, 1971): 1 — легкая фракция; 2 — тяжелая фракция; 3 — объем в остатке; 4 — объем вынесенного материала

Наиболее благоприятные условия для образования «очищенных» обогащенных скоплений тяжелых минералов возникают при слабом постепенном падении емкости потока наносов (рис. 16.2). Это может привести к почти полному осаждению тяжелых частиц (включая частицы легкой фракции однозначной гидравлической крупности). Боль-

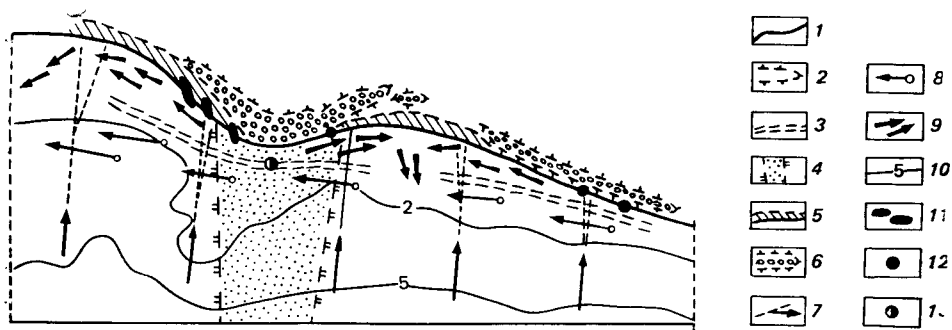


Рис. 16.3. Схема локализации морской россыпи (по А. Е. Смолдыреву, 1978): 1 — линия берега; 2 — штормовой вал; 3 — подводный вал; 4 — подводный выступ; 5 — зона размыва; 6 — участок аккумуляции; 7 — луч волны; 8 — вдольбереговые течения; 9 — градиентные течения; 10 — изобаты. Концентрация золота, усл. ед.: 11 — 200—300; 12 — 50—200; 13 — до 50

шая же часть легкой фракции переносится дальше. Минералогическая сепарация, таким образом, приводит к дополнительному обогащению россыпи. Особенности локализации морской россыпи золота иллюстрирует рис. 16.3. В данном случае морфология береговой зоны типична для всего района. Продуктивный слой связан с маломощными грубозернистыми морскими отложениями голоценового возраста, наложенными на цоколь коренных пород. Пляж в вершине бухты сложен галечниками, а на бортах — песками и песчано-галечным материалом. На подводном береговом склоне протягивается подводный вал. Повышенные концентрации золота наблюдаются в зонах размыва, особенно на пляже, под действием вдольбереговых течений в штормовой период. Скопления золота, обнаруженные в зоне подводного вала, уступают пляжевым по качеству в несколько раз. Меняется также и размер золотинок в россыпях. Наиболее крупные золотины встречены в пляжевых россыпях, наименьшие размеры имеют золотины россыпей подводного склона.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ МОРСКИХ РОССЫПЕЙ

Специфика локализации морских россыпей обусловлена физическими свойствами минералов, их прочностью, размерами, гидравлической крупностью и другими характеристиками, которые определяют условия гранулометрической дифференциации, минералогической сепарации, дальность переноса и сохранность самих минералов.

В автохтонных россыпях минералы имеют повышенную крупность, поскольку степень россыпи определяется не гидродинамической сортировкой, а особенностями проседания тяжелых частиц в толще наносов под действием фильтрационных волн и при вымывании легкой фракции и мелких частиц. Значение гидродинамических процессов возрастает при формировании аллохтонных россыпей. В потоках наносов происходит не только дифференциация обломочного материала, но и измельчение, истирание минеральных частиц.

Особый отпечаток на процесс разрушения частиц накладывают волновые колебания. В отличие от руслового однонаправленного потока в море частицы на фоне результирующего перемещения совершают возвратно-поступательные движения, что способствует истиранию ковких частиц золота и измельчению хрупких зерен касситерита и других минералов.

В общем однонаправленном потоке возникают относительно слабые соударения частиц, под действием которых металлические ковкие частицы меняют форму, но не истираются. Для хрупких же частиц такой силы удара может быть недостаточно для раскола зерен. В морских же условиях при резкой смене волновых орбитальных направлений движения прямого и обратного потока создаются условия для абразивного действия частиц друг на друга.

Исследование прочностных свойств минеральных частиц проводилось в ЦНИГРИ. В лабораторных условиях осуществлены эксперименты с применением вращающегося барабана, которые имитировали действие однонаправленного потока на измельчение частиц золота и касситерита в процессе их миграции (А. Е. Смолдырев, 1978). В результате установлено, что вследствие ковкости металла золотины со средней массой 0,28 г измельчаются медленнее, чем кварц крупностью 10—15 мм. Отсюда можно сделать вывод о небольшой роли измельчения золота в аллювии речного водотока или в делювиальных россыпях.

В ходе эксперимента для касситерита кино съемка показала, что измельчение его зерен на кольцевом гидротранспортере зависит от крупности частиц. Интенсивнее измельчаются крупные фракции (5—1 мм), для которых уменьшение исходного диаметра зерен вдвое наступает по прохождении частиц в условном потоке на расстояние в первые десятки километров. Особенно слабо разрушаются частицы менее 0,5 мм (чтобы уменьшить размер зерен вдвое, необходимо их участие в потоке протяженностью более 200 км). Эти цифры хорошо согласуются с гидравлической крупностью частиц и показывают, что массовые соударения наступают при скоростях потока, равных срывающим критическим скоростям их гидравлической крупности.

Наибольшая гидравлическая крупность свойственна обломкам пород больших размеров и сверхтяжелым минералам. Так, для гальки размером 1—3 см срывающие скорости достигают 150 см/с, а несдвигающие, при которых частицы выпадают из потока в осадок, равны 60 см/с. Близкие к ним по значениям скорости потока необходимы для перемещения крупных частиц золота и касситерита, которые улавливаются валунно-галечным каркасом в приурезовой полосе.

Для минералов песчаной фракции размером от 0,1 до 0,25 мм свойственны следующие пределы критических скоростей: кварц (уд. вес 2,6) — срывающие скорости 43 см/с, несдвигающие — 8,5 см/с; пироксены (уд. вес 3,2) — скорости соответственно равны 55 и 14,5 см/с; титаномагнетит (уд. вес 4,5) — 84,5 и 20,0 см/с. В зависимости от гидравлической крупности минералов изменяется их содержание и в морских россыпях (табл. 16.2).

Таблица 16.2

Изменение содержания полезных минералов в морских россыпях в зависимости от размеров частиц
(по А. Е. Смолдыреву, 1978)

| Минерал | Размер частиц, мм | Содержание минеральных частиц морской россыпи, % |
|--------------------------|-------------------|--|
| Алмаз | 0,2—1,0 | до 10 |
| | 1,0—2,0 | до 25 |
| | 2,0—4,0 | до 65 |
| Золото | 0,25 | до 65 |
| | 0,25—0,5 | 10—35 |
| | 0,5 | 10 |
| Касситерит | 0,25 | 60 |
| | 0,25—0,75 | 40 |
| | 0,75 | 10 |
| Ильменит, рутил и циркон | 0,074 | 10—60 |
| | 0,074—0,15 | 35—85 |
| | 0,15—0,25 | до 10 |
| Титаномагнетит | 0,074—0,15 | 20 |
| | 0,15—0,25 | 30 |
| | 0,25—0,5 | 45 |
| | 0,5 | до 10 |

В морских россыпях изменяется также и форма минералов. Наиболее активно это проявляется в «мягких» минералах типа золота. По наблюдениям Л. П. Кашеева (1971), форма золотин изменяется по следующим классам. Для размера золотин 0,25—0,5 мм характерна пластинчатая форма. Частицы в плане изотермические, удлиненные и

неправильных очертаний имеют совершенную окатанность. Поверхность золотин сильно корродирована, со следами деформации (загнутые края, перегибы, сплющивания). Средний вес 0,15 мг. Золотины в классе 0,1—0,25 мм имеют форму от пластинчатых до комковидных и лепестковых с хорошей и совершенной окатанностью. Поверхность их корродирована. Вес в среднем 0,01 мг. Самые мелкие частицы золота (до 0,1 мм) — губчатые, комковидные и неправильной формы с плохой и средней окатанностью. Поверхность их слабо- и среднекорродирована. Вес — до 0,003 мг. Во всех классах цвет золотин одинаковый — желтый и ярко-желтый с металлическим (у крупных) и металловидным блеском (у мелких частиц).

ТРАНСГРЕССИВНО-РЕГРЕССИВНЫЕ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ РОССЫПЕЙ ШЕЛЬФА

Для образования морских россыпей, наряду с металлогенической специализацией района, большое значение имеет история развития рельефа побережья и формирования осадочной толщи при смене этапов размыва и накопления в период действия трансгрессий и регрессий. При анализе истории эволюции рельефа морских побережий выявлено несколько этапов, благоприятных для россыпеобразования, каждый из которых определяется своеобразием климатических условий, активностью тектонических движений и характером эвстатических колебаний уровня моря, накладывающимися на общую схему циклов формирования морских россыпей.

Климат влияет косвенно на образование россыпей. Он определяет степень подготовки материнских пород к размыву, глубину и продолжительность процесса выветривания, характер кор выветривания, их мощность и свойства. Аридный климат отличается резкими перепадами температуры и очень низкими значениями влажности и количества осадков, выпадающих в виде катастрофических ливней в сезон дождей. В этих условиях растительный покров ослаблен (разрежен), транзитные реки в сухой период пересыхают. На поверхности земли интенсивно развиваются эоловые процессы и физическое (термическое) выветривание. В сезон дождей в реки сгружается весь рыхлый обломочный (элювиальный) материал, и скорости потока превышают в несколько раз критические (срывающие), необходимые для переноса частиц гидравлической крупности песка. Поток захватывает разноразмерные наносы от илов до гальки и валунов. В результате формируются неслоистые, несортированные толщи с включением грубообломочного материала и песчано-илистым заполнителем. Однако, испытыв последовательно в дождливые периоды смену стадий перемывов и переноса, к приустьевым участкам обломочный материал подается слабо-сортированным и далее подвергается волновой переработке, сортируется и переотлагается в аккумулятивных формах. Таким образом, полезные компоненты могут доставляться к морю за многие десятки и сотни километров от источника размыва — коренного месторождения. Например, в юго-западной Африке алмазы перенесены р. Оранжевая к берегам Атлантического океана за 500—800 км.

Гумидный климат характеризуется постоянно повышенной влажностью и большим количеством осадков, относительно небольшими амплитудами изменения температур. В этой климатической зоне хорошо развита речная сеть. Основная сортировка и переотложение полезных компонентов совершаются на небольшом расстоянии от коренного месторождения. Приустьевых участков достигает лишь мелкий

материал. Большая часть полезных компонентов не достигает моря и остается в пределах долины реки континента.

Тектонические, так же как и эвстатические, движения влияют на формирование морских россыпей следующим образом. При опускании россыпи размываются и сокращаются по площади. При медленном подъеме берега к имеющейся россыпи причленяются (в соответствии со стадиями подъема) все новые полосы берега, обогащенные полезными минералами.

Быстрые колебания уровня моря не способствуют образованию пляжевых россыпей. За относительно короткий период времени пески не успевают пройти полный цикл обогащения и рассеиваются в слабообогатенном состоянии. За счет быстрых изменений береговой линии, ее конфигурации и местоположения песчаные наносы не успевают отсепарироваться и устойчивые зоны концентрации тяжелых минералов не образуются.

Л. Б. Хершберг (1976) выделяет два этапа в истории геологического развития побережий на примере дальневосточных морей. В дочетвертичный этап сформировались узлы россыпной металлоносности, открывающиеся в пределы побережья и шельфа. В этот этап развились мощные коры химического выветривания. Горообразование сменилось ослаблением вулканизма и тектонических движений в конце эоцена — начале олигоцена. Наряду с распространением кор выветривания происходили их размыв и накопление мощных толщ грубоблочных отложений как промежуточных коллекторов. Очередная фаза тектонического подъема горных сооружений, наступившая в позднем миоцене и продолжавшаяся до плиоцена, способствовала усилению эрозионной деятельности рек, что привело к размыву и переотложению материала олигоценых и миоценовых кор выветривания и россыпепформированию.

Четвертичный этап характеризовался дифференцированными тектоническими движениями и колебаниями уровня моря, обусловленными резкой сменой климата. В начале четвертичного периода возникли условия для переыва рыхлых отложений долин, делювиальных образований и кор выветривания. В это время были сформированы богатые аллювиальные россыпи. Очередное повышение уровня моря, наступившее во второй половине раннеплейстоценового времени, привело к подтоплению долин, активизации боковой эрозии, расширению долин и переотложению материала древних кор выветривания, усилилась абразия берегов. Море ингрессировало на приустьевых участках речных долин. Образовавшиеся бухты медленно заполнялись обломочным материалом, поступившим с твердым стоком и в результате выравнивания берегов.

Однако последующая глубокая регрессия (до 100 м) на границе раннего и среднего плейстоцена вызвала интенсивнейший врез речных долин, переуглубление русел и внедрение их за пределы поверхности бывшего шельфа. Среднечетвертичная трансгрессия, обусловленная потеплением климата, повысила уровень моря на 50 м и привела к заполнению аллювием речных долин. На шельфе реликты речных долин были не только затоплены, но и перекрыты чехлом молодых морских отложений.

Палеоген-неогеновой и плейстоценовой эпохам была свойственна многократная смена периодов корообразования и размыва, переотложения и аккумуляции. В результате по речным долинам в море сброшен большой объем металлоносного терригенного материала, что привело к формированию в пределах шельфа россыпей аллювиального и

морского генезиса, приуроченных к реликтам речной сети и древним береговым линиям.

Позднеледниковая трансгрессия привела к переформированию контуров береговой линии и подтоплению приустьевых участков речных долин, затоплению приморских равнин и низменностей, внедрению морских вод в межгорные понижения рельефа. Все это способствовало (в зависимости от геологического строения и тектонической активности) образованию бухтовых берегов рiasового типа или абразионно-выровненных на участках открытого побережья, где вместе с подъемом уровня моря происходило интенсивное срезание значительных объемов берегоформирующих пород, в особенности наиболее податливых абразии. На подводном склоне выработывалась обширная абразионно-аккумулятивная поверхность, абразионные участки которой соответствовали местонахождению мысов, а аккумулятивные проектировались на бухтовые впадины. В пределах последних накапливались мощные аккумулятивные толщи рыхлых отложений, имеющие сложное литолого-фациальное строение. Типично морские отложения перекрывают погребенный под ними аллювий ранних регрессивных фаз осадконакопления.

На абразионных поверхностях местами сохранились реликты древних береговых образований, сформировавшихся в период осцилляций уровня моря, возможных на общем поступательном фоне трансгрессии или относящихся к более ранним регрессивным этапам положения уровня моря.

В условиях ингрессии моря для бухтовых берегов особое значение приобретают береговые бары (рис. 16.4). Перемещаясь вслед за уре-

зом вод в глубь суши, бары блокируют внутреннюю акваторию заливов и бухт и способствуют захоронению континентальных отложений и лучшей сохранности погребенных россыпей. Сами же аккумулятивные формы — бары, — смещаясь в сторону суши, неоднократно испытывают перемыв и переотложение обломочного материала. В целом ингрессия моря приводит к формированию мощных толщ песчаных наносов с редкими пропластками слабообогатщенных песков. В устьях рек при подпоре их вод морем возникают россыпи широких аллювиальных равнин. К ним относятся титано-циркониевые россыпи, плавучее золото (размер менее 0,1 мм), очень мелкие алмазы и др. Подобные россыпи обнаруживают связь с тонкозернистыми однородными песчаными фациями и глинистыми отложениями. Между крупностью зерен полезных компонентов и пустой породы имеет-

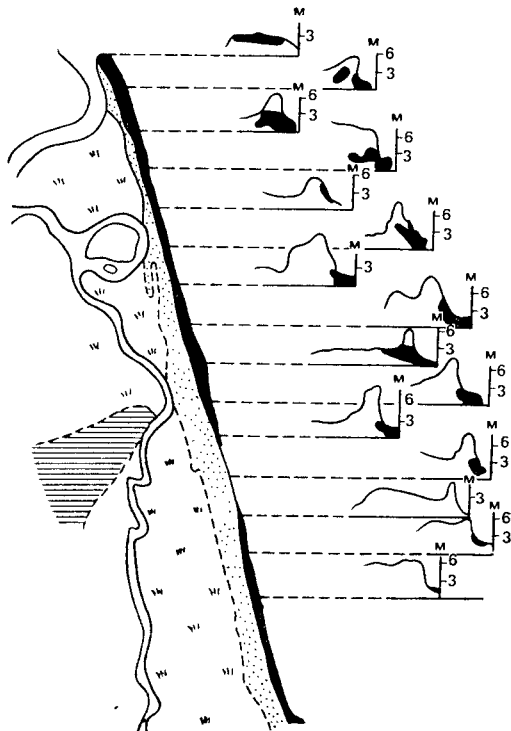


Рис. 16.4. Строение ильменит-рутил-циркониевых россыпей на восточном побережье Австралии (по А. А. Аксенову, 1969). Россыпи показаны черной заливкой

ся ясно выраженная связь. Крупность частиц уменьшается от плотика к кровле. Рудные залежи имеют форму мощных линз, приуроченных к различным горизонтам россыпей. В отложениях ингрессионной фации присутствует косая и горизонтальная слоистость речного типа и нет морской фауны. Отдельные россыпи отличаются большой шириной и мощностью слагающих отложений (до 35 м).

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ЛИТОДИНАМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПОИСКА МОРСКИХ РОССЫПЕЙ

В последние годы в изучении морских россыпей сделан значительный шаг вперед в связи с усиленным внедрением новых перспективных методов исследования: структурно-геологических, фациальных, металлогенических, геохимических и геофизических.

Каждый из названных методов применим для решения прогнозно-поисковых задач. Но в сложных условиях рельефообразования и развития шельфа обоснованная методика поиска и разведки прибрежно-морских россыпных месторождений должна предусматривать комплексный анализ характеристик района и опираться на результаты изучения прибрежных россыпей с учетом всего многообразия факторов, определяющих процесс их формирования и закономерности строения. Основными характеристиками при решении таких задач являются геоморфологические, гидро- и литодинамические факторы, климатические и геологические условия. Это не означает, что можно ограничиться одной группой факторов. Комплексная оценка возможного россыпенакопления для определенного участка шельфа предусматривает анализ следующих факторов: 1) наличие в прибрежно-шельфовой зоне коренных источников, способных дать достаточное количество полезных минералов; 2) палеогеографические аспекты развития территории (трансгрессивно-регрессивные этапы, характер дифференцированных тектонических движений); 3) условия мобилизации терригенного материала; 4) условия транспортировки тяжелых минералов; 5) условия накопления тяжелых компонентов; 6) геоморфологическая характеристика перспективного района, определение форм рельефа и геоморфологических условий, благоприятных для россыпеобразования, обстановки высвобождения рудного вещества, его концентрации и возможностей сохранения россыпей; 7) геофизические и геохимические аномалии береговой зоны и шельфа.

Геоморфологические критерии поиска морских россыпей определяются условиями распространения и накопления полезных минералов на шельфе, строением рельефа дна, его происхождением, морфодинамикой и историей развития. К этим критериям относятся следующие: 1) глубина и рельеф дна; 2) уклоны дна; 3) контур береговой линии; 4) рельеф прилегающей суши (наиболее благоприятны бухтовые берега низкогорных областей и равнины платформенных окраин); 5) наличие впадающих в море рек или древних русел; 6) наличие и характер берегового и донного абразионного воздействия; 7) геоморфологическая интерпретация истории развития данного района (выделение в плиоцен-четвертичном разрезе ритмов, эпох и геоморфологических условий, благоприятных для россыпеобразования); 8) ширина и общий уклон шельфа (узкий шельф с превышающими нормальными уклонами неблагоприятен для накопления тяжелых минералов); 9) характер контура внешнего края шельфа (выступ по внешнему краю может быть признаком палеодельты, т. е. очень благоприятным районом для россыпеобразования).

Рассмотренные критерии помогают осуществить предварительную оценку перспективности тех или иных типов и форм рельефа. Однако эти факторы не в полной мере раскрывают возможный механизм формирования собственно россыпей в процессе зарождения и активизации транспортных потоков наносов, сопровождающихся дезинтеграцией, дифференциацией, сепарацией и аккумуляцией тяжелых минералов.

Анализ литодинамических условий с учетом геоморфологических факторов позволяет проследить не только механизм образования россыпей, но и путь тяжелых минералов от их источника до скоплений в донном грунте.

Литодинамические критерии поиска морских россыпей позволяют определить следующие особенности процесса формирования россыпей.

1. Характер питания прибрежной полосы терригенным материалом: а) аллювий рек, б) абразионный материал, в) другие способы поступления наносов (осыпи, оползни, обвалы у стенок клифа, пролювий; материал, поступающий в результате ложкового расчленения прибрежных сопок и т. д.).

2. Характер питания прибрежной полосы талассогенным материалом и условия его обогащения под воздействием гидродинамических факторов: а) вдольбереговые потоки наносов, б) другие факторы волнового воздействия на перемещение отложений и их обогащение в прибрежной зоне, в) наличие придонных течений.

3. Условия дифференциации минеральных частиц под действием гидродинамических факторов.

4. Особенности переноса и отложения тяжелых минералов в зависимости от их гидравлической крупности.

5. Характеристика полезных минералов, их физическая устойчивость и химическая инертность в динамически активных прибрежных условиях.

6. Реконструкция литодинамики береговой зоны древних водных бассейнов: а) древние потоки наносов, б) материал палеорек, в) древние пляжи, г) древние береговые линии.

Выделенные литодинамические критерии поиска россыпных месторождений на шельфе не гарантируют большого содержания полезных компонентов, но зачастую именно они позволяют выявить зоны, благоприятные для россыпеобразования.

Прогнозирование россыпей на шельфе можно и нужно осуществлять, опираясь на данные геоморфологических исследований, учитывая в первую очередь гидро- и литодинамические условия в прибрежной зоне. Поиски морских скоплений полезных минералов исходя из геоморфологических факторов можно приурочить к определенным геоморфологическим элементам: выходам на шельф погруженных речных долин; погруженным речным долинам на современном подводном склоне и в пределах низкой морской террасы; древним береговым линиям; современным речным руслам; подводным аккумулятивным телам (подводным валам, косам); бухтовым участкам берега. Важнейшими литодинамическими факторами россыпеобразования являются, во-первых, интенсивное динамическое воздействие на рыхлые наносы, т. е. необходима активная гидродинамическая среда; во-вторых, короткий транзит в зону питания металлосодержащего материала; в-третьих, наличие потока наносов с дефицитом материала в волноприбойной зоне.

Палеогеоморфологические исследования позволяют выделить благоприятные для образования россыпей зоны и условия существования в прошлом. Как показало изучение плиоцен-четвертичного разреза рыхлых отложений, фазы накопления полезного компонента приходят-

ся на эпохи вреза (эпохи понижения уровня моря) с последующим затем захоронением их под плащом осадков. Наиболее продуктивные толщи песчаных отложений относятся к концу плейстоцена — началу голоцена.

Глава 17

РОССЫПИ ШЕЛЬФА

Фациальные условия формирования россыпей шельфа

Виды и размещения россыпей шельфа

Особенности россыпей алмазов

Особенности россыпей олова

Особенности россыпей золота

Особенности комплексных россыпей тяжелых минералов

Песок и другие строительные материалы

Россыпи, обнаруженные на шельфе, разнообразны по своему происхождению и охватывают широкий диапазон типов россыпей, от сформировавшихся первоначально в континентальных условиях и затем затопленных и захороненных или преобразованных в ходе изменений уровня моря до концентраций полезных минералов, сформировавшихся непосредственно в субаквальных условиях морской среды и затем помещенных на большие глубины шельфа в процессе трансгрессии океана.

ФАЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РОССЫПЕЙ ШЕЛЬФА

На побережье и шельфе выделяют несколько видов фаций, в условиях которых формировались россыпи: подводного берегового склона (в частности, подводных валов), пляжа, эоловые и прибрежно-эоловые, лагунные, устьевых и предустьевых (авандельтовых) частей рек, а также реликтовые континентальные (табл. 17.1).

Фации подводного берегового склона приурочены к самой верхней части шельфа, которая находится в зоне активного волнового воздействия между урезом и глубиной начальных активных взаимодействий с дном волн открытого моря, возбуждающих движение и перемещение прибрежно-морских наносов вдоль берега или по нормали к нему. При этом следует учитывать, что, в отличие от речных процессов, где, приходя в движение, наносы перемещаются в направлении потока, в море наносы могут совершать под действием волнения возвратно-поступательные движения, практически не перемещаясь. Подобный процесс наблюдается в пределах так называемой «нейтральной» линии.

Это же явление может происходить в вершинах бухт и у ровных берегов при подходе волн по нормали. Поэтому в термины «движение» и «перемещение» в морской практике вкладывается различный смысл. В отличие от рек на море наносы, совершая возвратно-поступательные колебания, формируют потоки, направленные вдоль берега (продольные) или по нормали к нему (поперечные). При косых лучах волн наносы перемещаются по направлению румбового вектора штормовой

Классификационная схема возможных фацialsных типов россыпей прибрежной части шельфа и побережья (по В. Г. Ульсту, 1970)

| Фацialsные типы россыпей | Полезные компоненты | Вещающие породы | Расположен- ные вблизи коренного источника | Удаленные от корен- ного источ- ника | Положение россыпей относитель- но уровню моря |
|---|--|---|---|---|---|
| I. Россыпи фаций подводного скло- на | титано-циркониевые, редкометаллические и другие тяжелые минералы с уд. весом 4,2—5,3 алмазы золото, касситерит | мелкие пески, крупный алеврит грубые пески, гравий, галька | + | + | + |
| II. Россыпи фаций пляжа | титано-циркониевые и другие тяжелые минералы с уд. весом 4,2—5,3 алмазы золото, касситерит | мелкие пески грубые пески, гравий, галька | + | + | + |
| III. Россыпи береговых золотых фаций | титано-циркониевые и другие тяжелые минералы с уд. весом 4,2—5,3 | мелкие пески | + | + | + |
| IV. Россыпи лагунных фаций | золото, олово | иллистые, глинистые отложения с линзами грубообломочного материала | + | — | — |
| | титано-циркониевые и другие тяжелые минералы | мелкие пески, крупный алеврит | + | — | — |
| V. Россыпи устьевых и предустьевых фаций | титано-циркониевые, редкометаллические и другие тяжелые минералы с уд. весом 4,2—5,3 | мелкие пески, крупный алеврит | + | + | + |
| VI. Россыпи реликтовых континентальных фаций (аллювиальные, делювиальные и др.) | золото, олово | глинистые, песчаные гравийные, галечные и щебневые отложения | + | — | — |

Примечание: фацис россыпей, характерные (+) и не характерные (—) для данной группы.

современные и древние (приподнятые над уровнем моря или затопленные)

равнодействующей волнения. При смене направления волнения перемещение наносов пойдет в другую сторону. И если значения встречных румбовых волноэнергетических потоков равны, то в береговой зоне могут возникать миграции наносов с амплитудой размаха, лимитирующейся мощностью штормовых волнений, их продолжительностью действия и строением рельефа береговой зоны (характером плановых очертаний береговой линии, морфологией дна и т. д.).

Условия подводного берегового склона характеризуются повышением гидродинамической активности, поскольку здесь происходят трансформация и разрушение или забурунивание волн. Нижняя граница зоны трансформации волн испытывает значительные колебания по глубине. При волнениях максимальной силы она опускается на большие глубины, при малых волнениях зона деформации едва захватывает самые мелководные верхние участки подводного склона, прилегающие к урезу воды. Таким образом, на подводном береговом склоне образуются две фациальные зоны (верхняя и нижняя), различающиеся по характеру гидродинамической активности прибрежных вод и особенностям лито- и морфодинамики. Первая из них подвержена частым по повторяемости и наиболее активным по силе воздействиям и соответственно испытывает наиболее действенные изменения и интенсивные перемещения грубообломочного материала. Вторая, расположенная в нижней части подводного склона, испытывает эпизодически кратковременные или относительно продолжительные воздействия сильных штормов, во время которых волновые движения в придонном слое воды достигают скоростей, достаточных для массового перемещения тонкозернистых наносов.

Перемещение наносов на подводном склоне осуществляется разными путями: во взвешенном состоянии, сальтацией или влечением. Кроме того, фильтрационные волны, проникая в грунт на некоторую толщину, образуют вязкопластичный монослой, который также может испытывать медленное течение по наклонной поверхности дна. Перемещаясь по дну волнением или течением, наносы дифференцируются по крупности и сепарируются по минеральному составу, в результате чего происходят обогащение и концентрация полезных минералов. Интенсивность перемещения, мощность и направленность подвижек донного материала (в виде миграций или потоков наносов) определяются параметрами волн, входящих в зону деформации, режимом волнения и течений, уклонами подводного склона, строением субаквального рельефа, составом и количеством донных наносов.

В ходе волнения поперечное перемещение наносов продолжается до выработки аккумулятивного профиля динамического равновесия. Смена режимных характеристик волнения ведет к перестройке профиля подводного берегового склона, сопровождающейся перемещением наносов и подачей их при усилении волнения — мористее от берега на большие глубины, а при уменьшении (ослаблении) — к берегу. Подобные явления в разных масштабах наблюдаются от шторма к шторму, при сезонных, годовых и многолетних изменениях волновых циклов, а также при изменении режима твердого стока рек, впадающих в море.

Вдольбереговое, или продольное, перемещение наносов определяется экспозицией берега относительно волн, румбовым потоком волновой энергии и энергетической равнодействующей волнения. Частая смена румбов волнения приводит к попеременным подвижкам наносов, противоположно направленным и небольшим по протяженности.

Размах миграций зависит от продолжительности разнонаправленных штормовых воздействий и скорости переноса обломочного мате-

риала вдоль берега. На протяжении годичного или многолетнего отрезка времени по направлению энергетической равнодействующей волнения возникают значительные по протяженности однонаправленные результирующие перемещения наносов вдоль берега — потоки наносов.

Морфологически потоки наносов в ряде случаев бывают выражены подводными валами, протягивающимися вдоль берега в верхней части подводного берегового склона в зоне бурунов. Максимум переноса приходится на гребни подводных валов и особенно на зону первого забурунирования. Слой волновой переработки осадков плащеобразно залегает на подводном склоне от уреза до глубины моря 20—30 м. Мощность его с глубиной уменьшается и на глубине 20 м составляет лишь 0,4—0,5 м. Слой неоднороден и разбивается на два горизонта, прослеживаемые по всей толще. Нижний слой, более мощный, по-видимому, сформирован при большей динамической активности среды, нежели верхний, или относится к более раннему этапу осадконакопления.

Волновое перемещение затрагивает обычно лишь верхний слой мощностью не более 1 м. Тем не менее вдольбереговые потоки наносов, особенно песчаных, на выровненных берегах достигают мощности в несколько сотен или десятков тысяч кубических метров в год и прослеживаются вдоль берега на десятки и сотни километров от источника поступления. На расчлененных берегах с изрезанным контуром береговой линии потоки наносов локализируются, а их параметры определяются глубиной расчленения и протяженностью транзитных участков открытого берега, а также наличием перехватов и бухт-ловушек. Такие берега по своему строению еще в значительной степени наследуют черты строения субаэрального рельефа, определяющие специфику процесса россыпеобразования.

Фации пляжа формируются под действием прибойного (скатертного) потока при заплеске штормовых волн на берег. Ширина зоны лимитируется с морской стороны глубиной начального разрушения последней (остаточной) волны, а на суше — высотой штормового заплеска и зависит от режимных характеристик волнения и их экстремальных значений.

Под действием прибойного потока образуются различные аккумулятивные береговые формы типа пересыпей, баров, кос, мощных пляжей полного профиля, широко развитых на отмелях песчаных берегах или приглубых галечных, прислоненных пляжей из преимущественно грубообломочного материала и «карманных» пляжей, распространенных на абразионных или абразионно-аккумулятивных выровненных и бухтовых берегах.

Пляжевые отложения представлены неоднородной толщей с типичной для нее косой перекрещивающейся (клиновидной) слоистостью и повышенным содержанием угловатых частиц по сравнению с отложениями фации подводного склона. На подводном склоне отложения нередко имеют четко параллельную слоистость. Каждая прослойка соответствует определенному этапу штормового воздействия или этапу накопления за счет волновой сепарации, к низу слой обогащается тяжелыми минералами.

Пляжи являются частью береговой зоны, наиболее чутко реагирующей на все происходящие изменения береговой зоны малого или большого масштаба. Динамика пляжа определяется во многом не только характером волнения и балансом наносов, но и особенностями строения берега. Изменение этих факторов или их соотношения

может привести к наращиванию аккумулятивного тела пляжа или к его деградации и полному уничтожению на протяжении десятков и сотен лет. В открытых бухтах при относительном дефиците наносов и под разнонаправленным действием волн создаются наиболее благоприятные условия для дополнительной дифференциации, сепарации и обогащения наносов полезными компонентами. Отмыв шлиха происходит как бы в гигантском лотке, где вместо человека действуют румбовые потоки волновой энергии.

Эволюция побережья охватывает длительные сроки (от сотен до тысяч лет) и определяется изменением положения уровня моря и скоростью денудации. Исключения представляют лишь внутренние закрытые водоемы, где изменения уровня проходят в течение нескольких лет или десятков лет. В ходе эволюции побережья в регрессивные ритмы формируются лестницы террас. При трансгрессии пляжи могут быть полностью срезаны или захоронены под толщей молодых фаций подводного берегового склона. В некоторых случаях ингрессии моря может наблюдаться последовательная экскавация пляжеформирующего обломочного материала до максимума относительного подъема уровня моря.

Фации береговых эоловых образований формируются на морских берегах в условиях благоприятного ветрового режима и при наличии пляжевых песков как источника поступления наносов. Среди них широко распространены на берегах морей дюны, песчаные бугры и гряды. Непременным условием существования и развития эоловых форм является избыток наносов в пляжевой зоне. Увлеченные с пляжа ветром наносы компенсируются очередной дозой песков, поступающих на пляж при штормовом волнении. Дефицит наносов вдольберегового потока может привести к деградации эоловых форм и даже к полному их исчезновению. Быстрый подъем уровня моря приводит к подтоплению эоловых форм и образованию берегов, подобных аральскому типу.

Поскольку в эоловых образованиях накапливается материал, принесенный из промежуточного коллектора, каковым является пляж, то эоловые отложения также имеют повышенное содержание полезных компонентов. Скопления тяжелых минералов в них могут давать промышленные значения. Ю. А. Павлидис (1969) показал, что в дюнах содержится, так же как и на пляжах, около 55—57% минералов тяжелой подфракции, из которых 12,3% составляет титаномагнетит. Однако на пляже содержание титаномагнетита в два раза выше (до 27%), чем в эоловых отложениях. Отложения подводного берегового склона несколько беднее титаномагнетитом. На 34—35% тяжелой подфракции его приходится: 4% — в зоне подводных валов, около 7 — на глубине 10—20 м и менее 1,7% — на глубинах 30—40 м.

Лагунные фации по условиям их формирования неблагоприятны для накопления россыпей. Но в крупных лагунах при близко расположенных источниках полезных минералов могут возникать условия для россыпеобразования двух типов. В первом случае лагуны береговой зоны низменных прибрежных равнин питаются аллювиальными выносами песчано-илистого материала, в редких случаях — дюнными песками пересыпи. Во втором случае лагуны осложняют береговую зону горных стран, где короткие горные водотоки поставляют грубообломочный плохо сортированный материал. Перестройка внутреннего контура береговой линии лагун развивается под действием тех же факторов, что и береговая зона моря, однако масштаб явлений значительно уступает таковому для морского берега. Тем не менее с лагунными фациями могут быть связаны перспективы на россыпи титаномагнети-

товых или ильменит-рутил-циркониевых минералов, характерных для первого типа лагун, а также россыпи золота и олова, свойственные второму типу лагун.

Устьевые и предустьевые фации приобретают большое значение при поисках россыпей в случае преобладания твердого стока в бюджетной составляющей наносов береговой зоны; для образования автхтонных россыпей наиболее благоприятны устья водотоков третьего-четвертого порядка. Устья рек больших порядков менее перспективны на россыпи тяжелых минералов. В их пределах могут быть распространены аллохтонные россыпи, например алмазные в дельте р. Оранжевая. Устьевая фация формируется в условиях дельтовой бифуркации руслового потока и характеризуется плохо сортированными грубообломочными отложениями с песчано-илистым заполнителем. В приустьевой (авандельтовой) фации большое влияние оказывает на формирование осадочной толщи волновая шлиховка наносов. Часть из них поступает на пляж или образует приустьевой бар, остальное уходит на подводный береговой склон и перераспределяется там волнами и стоковым течением. Для устьевых и приустьевых фаций возможен отрыв продуктивного пласта от коренных пород (плотика). В пределах прибрежной зоны в устьях рек наблюдается характерный переход современных аллювиальных россыпей в морские (рис. 17.1).

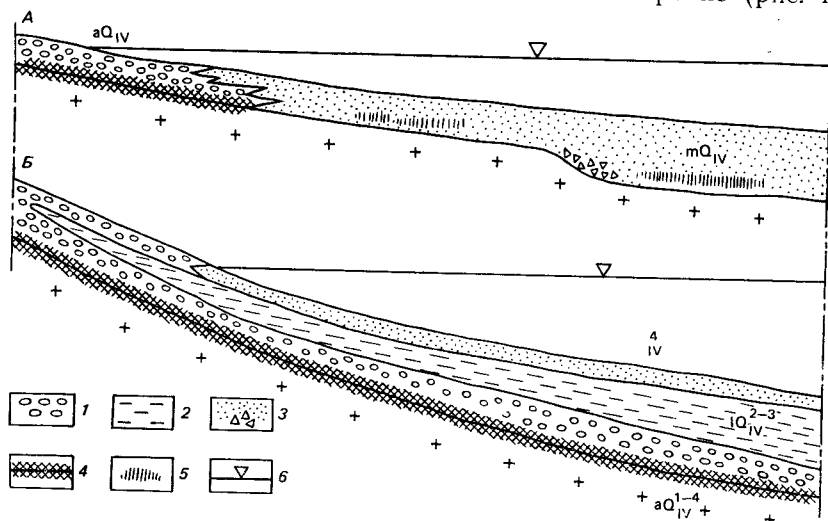


Рис. 17.1. Переход аллювиальной россыпи суши в современную морскую (А) и в погребенную аллювиальную (Б) (по А. Е. Смолдыреву, 1978). Отложения: 1 — аллювиальные, 2 — лиманные, 3 — морские, 4 — россыпи, 5 — россыпепоказания, 6 — уровень моря

Из реликтовых континентальных фаций главенствующее положение занимают аллювиальные. По своим характеристикам и морфологии они идентичны аллювиальным образованиям суши, но захоронены под чехлом морских или лагунных осадков, нередко мощностью до десятков метров. На подводном склоне распространены иногда континентальные фации, частично переработанные морем.

Россыпи тяжелых минералов этой фации располагаются вблизи коренных источников или промежуточных коллекторов на площадях, затопленных морем. К аллювиальным реликтовым фациям относят отложения погребенных и затопленных речных долин неогенового и плейстоценового возраста, которые прослеживаются в рельефе мор-

ского дна до глубины 35—40 м. Весьма вероятно, что нижней границей реликтов речных долин на шельфе является глубина 100—130 м, т. е. максимум плейстоценовой регрессии. Фрагменты реликтовых долин располагаются на шельфе по нормали к береговой линии и часто приурочены к устьевым участкам современных рек. В некоторых случаях реликтовые долины не выражены или слабо выражены в рельефе шельфа и обнаруживаются лишь по косвенным признакам или при бурении и сейсмопрофилировании. Перекрывающие их отложения по генезису могут относиться к различным циклам эрозионного или абразионного среза и аккумулятивного накопления.

ВИДЫ И РАЗМЕЩЕНИЕ РОССЫПЕЙ ШЕЛЬФА

Россыпи шельфа различаются по генезису, пространственному расположению, отношению к источникам (автохтонные и аллохтонные) и геоморфологическим условиям залегания (террасовые, погребенные и современные — заключенные в осадках последней трансгрессии). Генезис определяется фаціальными условиями россыпеобразования, которое может протекать в субаэральных или в морских условиях (субаквальных или литоральных). Практика показывает, что, кроме типично-континентальных и собственно морских, на шельфе встречаются россыпи полигенетические (смешанные), в формировании которых принимало участие несколько факторов. В процессе накопления эти россыпи прошли несколько фаз преобразования (перемыва) и потеряли свою моногенетическую принадлежность. Однако по преобладающему признаку они могут быть отнесены к тому или иному классу.

Аллювиальные россыпи шельфа мало отличаются от аналогичных образований суши и находятся в погребенном или затопленном состоянии; по возрасту они относятся к неогену или плейстоцену; содержат золото, платину, касситерит, алмазы и другие полезные минералы. Аллювиальные россыпи располагаются вблизи коренных источников или промежуточных коллекторов. На подводном береговом склоне продуктивный пласт нередко отрывается от коренных пород. Границы россыпи находятся в пределах осадков определенного литологического типа, мощность не превышает нескольких метров.

В реликтовых долинах наиболее крупные россыпи связаны с отложениями днищ. В сложно построенных долинах встречаются террасовые россыпи. Россыпи залегают в виде линз, струй или пластов. Параметры россыпи по ширине меняются от десятков до сотен метров, по длине — до нескольких километров. Для типичных россыпей золота продуктивный пласт имеет мощность до 1—3 м и состоит из песчано-глинистых смесей. Золота содержится в нем до нескольких граммов на 1 м³. В разрезе шельфовых отложений, включающих реликтовые континентальные фации, может наблюдаться типичный переход аллювиальных россыпей в морские (см. рис. 17.1).

Аллювиальные россыпи распространены в заливах Корейского побережья (золото), на шельфе Охотского, Японского морей, в прибрежной зоне Аляски (платина), на Индонезийском побережье (олово).

Морские россыпи, так же как и аллювиальные, могут обнаруживать связь с коренными источниками или не обнаруживать. Из них автохтонные сохраняют связь с коренными источниками и располагаются в базальных фациях трансгрессивно-регрессивных ритмов осадконакопления. А. Е. Смолдырев (1976) выделяет два подтипа таких россыпей: пляжево-донные и остаточные. Первые имеют повышенные размеры полезных минералов (0,25—1,0 мм) и неравномерно распре-

делены как в разрезе, так и пространственно. Обычно они расположены в нескольких километрах от коренных источников, которыми являются коры выветривания или размывающиеся рыхлые берегоформирующие отложения (промежуточные коллекторы). Участки локализации имеют сложные очертания.

Остаточные россыпи (золота) образуются при дефиците наносов на внешнем мористом склоне подводных валов перед зоной забурунивания волн. Россыпи содержатся в песчано-галечниковых и гравийных отложениях подводного берегового склона и маркируются в виде системы узких (до 10 м) параллельных струй длиной до нескольких километров. Вблизи устьев рек россыпи располагаются по нормали к берегу. В обогащенных прослоях золото имеет размеры 0,2—0,5 мм, редко — больше. В разрезе могут быть перекрыты «пустыми» отложениями мощностью до 20—25 м.

К автохтонным относят также касситеритовые россыпи типа «мин-тян», продуктивный пласт которых состоит из прослоев в толще четвертичных отложений. Содержание полезного минерала в прослоях повышается в сотни раз. Источниками служат рудные зоны с пегматитовой и касситерит-кварцевой минерализацией выветрелых пород. На подводный склон касситерит поступает в результате абразии оловосодержащих пород и с твердым стоком рек. В море частицы перемещаются на расстоянии до 10 км (дальше, чем в водотоках). Размеры зерен основного класса 0,15—0,3 мм. Продуктивная толща отделена от плотика торфами или остаточной россыпью.

Аллохтонные россыпи весьма подвижны и образуются при абразии различных по составу берегоформирующих пород, в которых устойчивые минералы присутствуют в акцессорных содержаниях. Размер зерен 0,15—0,25 мм. Наблюдается высокая степень естественного обогащения (на два порядка) морских отложений, которая достигается при активной сепарации наносов в протяженных (десять и сотни километров) потоках большой мощности. Для таких россыпей характерно многократное переотложение с отрывом от коренных источников на десятки километров. Вокруг окраин древних платформ образуются пояса аллохтонных россыпей протяженностью до 1000 км. Наиболее благоприятный фактор для их образования — наличие коры выветривания, в местах их распространения (Австралия, Индия, Бразилия) суммарное содержание полезных компонентов (редкоземельных или радиоактивных) составляет до 90% тяжелой фракции.

Аллохтонные морские россыпи с разными миграционными свойствами образуют широко распространенные минералы повышенной плотности (до 5,5 — магнетит, ильменит, рутил, циркон и др.) и мало распространенные минералы высокой и весьма высокой плотности (8,5—16 — золото, касситерит и др.). Первые россыпи комплексные. Их минералогический состав зависит от вида пород в области сноса. Например, в Австралии к основным породам приурочены россыпи ильменита, а на песчаниках мезозоя распространены рутил-циркониево-ильменитовые россыпи. В Индии размыв гранитов, пегматитов и гнейсов приводит к образованию россыпей ильменита, обогащенных монацитом. Россыпи сохраняют тесную связь с вдольбереговым потоком наносов.

Хорошей миграционной способностью обладают алмазы. При небольшой плотности они имеют повышенные размеры (до гравийной фракции) и найдены в береговой зоне юго-западной Африки на расстоянии до 400 км от кимберлитовых трубок.

В аллохтонных россыпях золота и касситерита продуктивный пласт

отрывается от источников на 20—40 км, в исключительных случаях — на 100—150 км. Подпитка россыпей идет за счет промежуточных коллекторов. По размеру зерна относятся к тонкому и мелкому классам минералов (не больше 0,15 мм). Продуктивный пласт приурочен к верхним горизонтам осадочных ритмов.

ОСОБЕННОСТИ РОССЫПЕЙ АЛМАЗОВ

Промышленные россыпи алмазов и проявления россыпной алмазности встречаются практически на всех древних платформах. Прибрежно-морские россыпи пока известны лишь в пределах Африкано-Аравийской, Южно-Американской, Австралийской и Сибирской платформ. Большинство коренных древних месторождений алмазов уничтожено денудацией или перекрыто мощным чехлом осадочных пород, тем не менее алмазы встречаются в промежуточных коллекторах или в водосборных бассейнах.

Одним из важнейших условий образования промышленных россыпей алмазов является наличие достаточно мощной древней коры выветривания. В связи с низкими содержаниями алмазов в кимберлитах формирование богатых россыпей происходит при большом количестве выветрелого материала в условиях длительного процесса активного выветривания.

Продуктивные толщи, сформировавшиеся в континентальных условиях, были размывы и послужили промежуточными коллекторами, питавшими полезным компонентом верхнечетвертичные аккумулятивные образования типа пляжей, приустьевых баров, кос и подводных валов. Отложения прибрежной зоны — пески с линзами галечников и гравия — достигают мощности 2—3 м и прослеживаются на значительные расстояния. Выход тяжелой фракции от 0,002 до 15 кг/м³. Алмазы и их парагенетические спутники распределены крайне неравномерно. Повышенные содержания приурочены к зонам размыва коллекторов или коренных источников и отложениям регрессивных стадий.

Особенности накопления на берегах морей и океанов аккумулятивных образований, с которыми связаны россыпи алмазов, подчинены факторам, свойственным и для континентальных условий. Тесная связь обнаруживается между геолого-геоморфологическим строением территории, образованием и морфологией россыпей.

По данным Дж. Меро (1969), с 1961 г. ведется промышленная добыча алмазов на подводном береговом склоне юго-западной Африки на глубинах до 30—35 м с применением плавучих алмазодобывающей и горнообогатительной фабрик на территории от устья р. Оранжевая к северу.

ОСОБЕННОСТИ РОССЫПЕЙ ОЛОВА

По данным ООН, к 1971 г. на морские россыпи приходилось около 50% мировой добычи олова (Величко и др., 1974). Россыпи касситерита разрабатываются в береговой зоне и на шельфе многих стран, прежде всего на шельфах Юго-Восточной Азии и Индонезии. В меньшей степени распространены россыпи касситерита в береговой зоне п-ва Корнуэлл в Англии, п-ва Сьюард на Аляске, а также на шельфах Австралии и Тасмании. Крупнейшие россыпные месторождения олова расположены в пределах Тихоокеанского подвижного пояса, где оловянная минерализация связана с гранитами.

Запасы олова на суше истощаются, а потребности мировой промышленности в этом металле растут. Поэтому поиски и разведка оловоносных россыпей в береговой зоне на шельфе морей и океанов приобретают все большее значение. Во многом этому способствует наличие благоприятных геолого-геоморфологических предпосылок для обнаружения новых месторождений касситерита, в особенности у берегов Юго-Восточной Азии. Источниками оловоносных россыпей являются зоны оловянного оруденения, связанные с кварцевыми жилами, прорезающими гранитоидные штоки мелового возраста, или с минерализованными зонами дробления в ороговикованных толщах нижнемеловых эффузивов и верхнеюрских песчаников и сланцев.

Одна из современных морских россыпей приурочена к пляжевым галечно-песчаным отложениям с примесью глинистого материала и крупных глыб размером 1—1,5 м в поперечнике. Мощность галечников 10—12 м. Они вытянуты вдоль берега полосой до 1,5 км при ширине от 20 до 80 м. Некоторые концентрации касситерита приурочены к древним береговым формам на подводном склоне. Россыпи касситерита формируются также в результате волновой переработки делювиальных и аллювиально-делювиальных отложений. Из них современные приурочены к пляжу, а древние — погребены под 10—15-метровой толщей морских и аллювиальных отложений и расположены ниже уровня моря.

Россыпи олова найдены также в местах распространения неогеновых песчаников, в которых содержится до 5 г/м^3 касситерита. В пляжевых россыпях его содержание возрастает в несколько раз за счет волнового обогащения. Зерна касситерита имеют крупность до 0,3 мм и удалены от источников поступления на десятки километров. Возможны россыпи касситерита, оторванные от источника на расстояния до 100 км и более.

В прибрежной зоне и на шельфе Индонезии россыпи олова связаны с долинным комплексом речной сети. Реликты речных долин выявлены на подводном склоне по геоморфологическим и геофизическим данным. Степень захоронения их во многих случаях незначительна. В некоторых местах палеоруслу долин отчетливо выражены в рельефе и трассируются на глубины до 30—35 м. Эти россыпи небольших размеров образовались при размыве выветрелых гранитов, сланцев и песчаников. Рудный слой (какса) мощностью до 2 м залегает в кровле коренных пород. Собственно морские россыпи касситерита примыкают к площадям распространения гранитов на берегу. Из-за хрупкости зерен в россыпях преобладает тонкозернистый касситерит. На подводном склоне о. Банка выявлены новые запасы морских россыпей касситерита на глубине 50—60 м.

Активно ведется разработка морских россыпей касситерита на шельфе и берегах западной Малайзии, небольшие россыпи имеются на пляжах мелких прибрежных островов. В Таиланде морские россыпи олова располагаются в западной части полуострова и связаны с выходами гранитных пород, имеющих простираение параллельно береговой линии. Оловоносные россыпи в Таиланде часто ассоциируются с ильменитом, магнетитом, цирконом, магнезитом и другими минералами. В Бирме оловянные россыпи связаны также с гранитами. Оловянный пояс там протягивается на 1200 км. Определенные перспективы на россыпи имеются на берегах, сложенных гранитными и метаморфическими породами. Большая часть россыпей на шельфе по генезису относится к аллювиальным. Реликты долин распространены в море на глубинах до 4—10,5 м.

Промышленная разработка морских россыпей олова активно ведется в Англии на п-ве Корнуэлл. Выявленные морские участки относятся к разряду техногенных россыпей. Их образование произошло в результате перемива сбрасываемых в море по реке Ред-Ривер «хвостов» от разработок олова на суше в районах Камборн и Редрут. На этом участке пески сосредоточены на глубине 9—12 м и содержат олова до 0,25%. На другом участке — Сент-Агнес — оловоносные пески техногенного происхождения расположены на глубинах свыше 21 м и имеют низкое содержание олова (около 0,06%). На третьем участке — Клигга Хед — полезные компоненты накапливаются на глубинах до 18 м при содержании 0,13%. Планируется разработка этих россыпей с применением гидравлических управляемых платформ с предварительным обогащением руды перед доставкой на берег для последующей обработки. «Хвосты» будут возвращаться на дно. Россыпь может возобновляться.

ОСОБЕННОСТИ РОССЫПЕЙ ЗОЛОТА

Поиски и разведка морских россыпей золота велись во многих странах: США, Австралии, Бразилии, Канаде, Чили, ЮАР и др. Морские россыпи золота встречаются как в чистом виде, так и в комплексе с другими тяжелыми минералами (магнетитом, касситеритом) или могут быть обогащены металлами платиновой группы.

В Австралии ведется разработка пляжевой россыпи золота на южном побережье штата Новый Южный Уэльс. Наиболее богатые содержания его выработаны, и драгирование золота организуется близ устья р. Бердекин, штат Квинсленд. При среднем содержании золота в песках 0,43 г/т запасы его составляют более 150 млн. м³. Новая Зеландия в районе г. Греймут на о. Южный добыла 255 кг золота в 1971 г. Комплексные россыпи, содержащие золото с рутилом и ртутью (киноварь), выявлены на Панамском побережье. Сопутствующие золоту россыпи платины разведаны на юго-западном побережье Гренландии.

Россыпи золота разрабатываются на Аляске на пляжах и морских террасах плиоцен-плейстоценового возраста, поднятых на разные высотные абсолютные отметки. Золото добывается из песчаных и галечных разновозрастных отложений. Россыпь Нома расположена вдоль морского пляжа на поднятой приливно-отливной террасе, ширина россыпи 90—125 м, высота 11—25 м, расстояние до моря 1,5 км. Россыпь перекрыта слоем гравийно-галечного материала мощностью до 2,5 м. Продуктивный пласт лежит на ложном плотике из глины и имеет вид струй шириной 0,3—4,0 м и мощностью до 0,1—0,2 м. Среднее содержание золота от 1,5 до 20 г/т, в гнездах накапливается до многих сотен граммов. Золотины имеют размер от 0,1 до 0,4 мм. По данным Дж. Мера (1969), с 1961 г. компания «Шелл Ойл» начала разведочные работы на золото в пределах прибрежного мелководья до глубины 20 м. Сейсмические и магнитометрические исследования определили увеличение мощности продуктивной толщи на подводном склоне в несколько раз по сравнению с расположенной на суше. Кроме того, в теле продуктивной толщи выявлено наличие крупных аномалий, обусловленных содержанием магнетита — непосредственного спутника золота (по аналогии с береговыми россыпями).

Золото обнаружено также на шельфе юго-восточной Аляски в затопленных руслах древних водотоков, расположенных на глубинах до 150 м. По своим размерам частицы золота очень мелкие, и извлечение их из отложений затруднено. С применением сейсмических методов и.

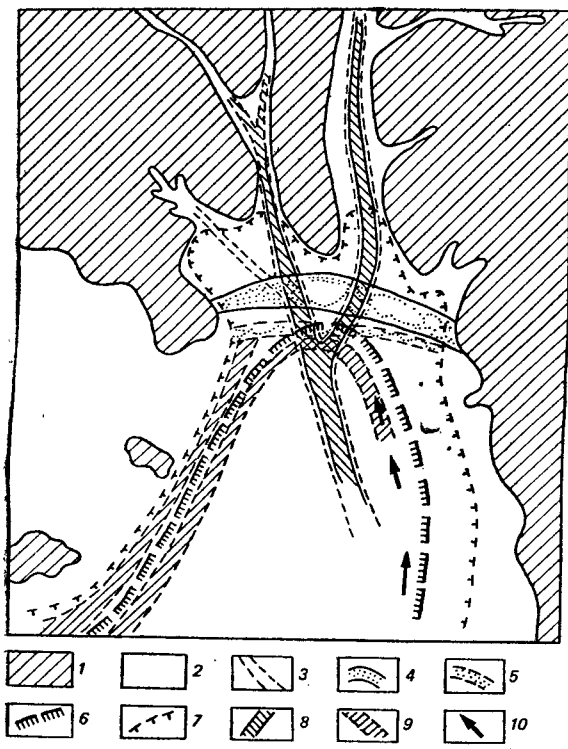
бурения на побережье Аляски разведаны новые площади месторождений золота, приуроченные к аккумулятивным телам сложного генезиса, расположенным на подводном береговом склоне и в погребенном состоянии в виде реликтов руслового аллювия, древних валов или «акустических провалов» (обозначающих скопления гравия в погребенных руслах, а может быть, и в береговых валах). Район распространения золотоносных отложений испытал сложную историю развития, начиная с раннеплейстоценового возраста. Источником поступления золота служат золотоносные иллинойские ледниковые наносы, поэтому самые богатые концентрации обнаруживаются на пляжах, врезающихся в ледниковые отложения или наложенные на них. Наступившая в позднем плейстоцене крузенштернская трансгрессия привела к образованию на шельфе трех морских береговых валов на глубинах 25—27, 19—21, 14—18 м. Распространяющиеся на подводном склоне ледниковые отложения перекрыты маломощным чехлом золотоносных валунных накоплений. Номская площадь — это крупное потенциальное месторождение золота. Промежуточные коллекторы, которыми являются ледниковые отложения, захватывают большое пространство в пределах номской прибрежной равнины. Особенно обогащены золотом боковые и конечные морены, пересекающие участки сильно минерализованной коренной породы и золотоносные русла водотоков.

В других районах на шельфе морей россыпи золота приурочены к реликтам речных долин, а в пределах современной береговой зоны — к береговым аккумулятивным формам типа баров. Например, пляжевые россыпи обнаружены на участках развития бухтовых и выровненных абразионно-аккумулятивных берегов. Россыпепроявления металла выявлены в пределах берегов некоторых других морфогенетических типов, таких как абразионные выровненные, аккумулятивные лагунные или аккумулятивные с примкнувшей террасой. Пляжевые россыпи приурочены к песчано-гравийно-галечным отложениям. Мощность продуктивного пласта равна мощности пляжевых наносов. Ширина металлоносного пласта не превышает 40—60 м. В плане наиболее обогащена вершина заплеска, а в разрезе — основание пляжевых отложений. Наряду с хорошо окатанными зернами встречаются плохо и совсем неокатанные золотины.

Основным источником обломочного материала для береговых баров служат размывающиеся на подводном склоне полигенетические рыхлые отложения. Превалирующее поперечное перемещение наносов происходит одновременно со смещением аккумулятивных форм в сторону суши. Очевидно, данные береговые аккумулятивные формы возникли мористее своего современного положения и представляют скопления массы обломочного материала, неоднократно перемытые и перетолженные, а россыпепроявления в них являются лишь шлиховыми ореолами промежуточных коллекторов, лежащих на подводном склоне, или же россыпью золота.

ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ РОССЫПЕЙ ТЯЖЕЛЫХ МИНЕРАЛОВ

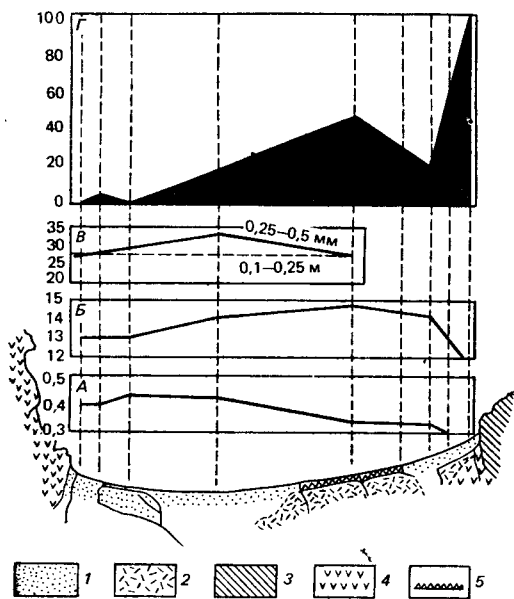
Самое широкое распространение среди морских россыпей тяжелых минералов получили россыпи ильменита, рутила, циркона, титаномагнетита и монацита. Такие россыпи имеются на берегах почти всех морей мира, но промышленная добыча их ведется лишь в некоторых странах. Так, ильменит-рутил-циркониевые россыпи активно разрабатываются в Австралии, где они приурочены к верхней части пляжа на высоте 1,8 м в пределах действия приливно-отливных коле-



баний. Обогащенные прослой имеют мощность от миллиметров до нескольких сантиметров, причем их мощность и количество уменьшаются по мере удаления от устьев рек — источников поступления этих

Рис. 17.2. Плановое положение палеобухты, сформированной при ингрессии моря в речную долину (по Р. Б. Крапивнеру, Л. Б. Хершбергу, 1978):

1 — водораздельные пространства суши и острова; 2 — речные долины и подводный склон; 3 — контуры погребенных долин (предшествовавших каргинской трансгрессии); 4 — наводный бар; 5 — подводный бар; 6 — затопленная береговая линия (абс. высота — 31—33 м); 7 — контуры палеобухты в период максимума каргинской трансгрессии; 8 — аллювиальная россыпь касситерита; 9 — предполагаемая прибрежно-морская россыпь касситерита; 10 — направления местных вдольбереговых потоков



ценных компонентов (рис. 17.2). В строении россыпи наблюдается определенная закономерность: минералы с большим удельным весом приурочены к плотнику, а с меньшим — находятся в верхней части россыпи. Выработанные россыпи со временем восстанавливают

Рис. 17.3. Изменение гранулометрического состава пляжевых отложений вдоль аккумулятивной дуги берега открытого залива (по Ю. А. Павлидису, 1969):

А — медианный диаметр, мм; Б — сортированность, В — окатанность; Г — титаномагнетит, %; 1 — современные морские песчаные аккумулятивные формы; 2 — четвертичные пемзовые туфы; 3 — третичные вулканогенно-осадочные породы; 4 — андезито-базальты; 5 — активный клиф

ся. Наибольшая концентрация полезных минералов на пляже наблюдается после действия штормов. В целом из береговых россыпей в Австралии добывается свыше 1,5 млн. т минеральных концентратов.

К весьма распространенным в береговой зоне моря относятся так называемые железистые пески. Однако разработка их на море во многих случаях нецелесообразна из-за технических трудностей или непромышленных содержаний магнетита в пляжевых и донных отложениях. Тем не менее в странах, относительно бедных рудными месторождениями железа, уже налажена его добыча. Так, в Японии магнетиты разрабатываются на пляжах о. Кюсю, в заливе Сибуси (Ариаке). Это месторождение имеет запасы магнетита около 40 млн. т. Из полезных компонентов в залежи содержится около 56% железа, 12% окислов титана и до 0,26% фосфора.

Железистые пески приурочены к аккумулятивным дугам, очерчивающим контуры береговой линии побережий. Поступающий из устьев рек и от абразии обломочный материал разносится по дуге залива, питая надводные и подводные аккумулятивные накопления береговой зоны. В процессе размыва, переноса и переотложения происходит концентрация титаномагнетита на пляже до 48,5% осадков, тогда как в пемзах его содержится всего 1,6%, а в аллювии — около 22%. Содержание тяжелых минералов в отложениях подводного берегового склона — около 6,5% (рис. 17.3).

ПЕСОК И ДРУГИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В горных странах, где аллювий представлен в основном грубо-обломочной фракцией, строительная промышленность испытывает острый дефицит песка и вынуждена завозить его за многие тысячи километров от места потребления. В этих условиях особое значение приобретают морские пески (пляжевые или фации подводного берегового склона), добыча которых освоена во многих странах мира, прежде всего в Японии. Рефулирование песков с подводного склона приводит к нарушению баланса наносов и активизации процессов абразии.

В таких случаях рационально применять скомпенсированную экскавацию пляжевых или рефулирование донных песков в качестве строительного материала. На побережьях Каспийского и Азовского морей в качестве строительного материала широко используется ракушка, выброшенная на пляж штормовым волнением.

Дж. Меро (1969) указывает, что в ряде стран добываются цементные пески. В качестве строительных материалов и сырья для цементной промышленности широко используются ракушка и ракушечные пески. В США устричные раковины, используемые для производства извести и цемента, добывают в заливе Сан-Франциско и в прибрежной части у берегов штатов Луизиана и Вашингтон, а также на отмелях Мексиканского залива.

В Исландии находится одно из наиболее известных месторождений цементных песков. В 10 милях от берега в заливе Фахсафлуи ведется разработка ракушечных песков с глубины 40 м. В условиях высокой продуктивности моллюсков при периодических зимне-сезонных штормовых выбросах ракушки образуется самопополняющаяся залежь сырья, разработка которого осуществляется с судна грузоподъемностью 1000 т методом гидравлического отсоса грунта по трубам.

Широко разрабатываются в качестве строительного материала гравийные наносы в прибрежных районах США, Новой Зеландии, Австралии и пр. Гравий добывается методом рефулирования, а также драгированием или экскавацией с пляжа. По сведениям Е. А. Величко и др. (1974), активно ведется добыча песка и гравия на шельфе у берегов Великобритании с глубины до 30 м (около 15 млн. т в год).

В США добыча песка и гравия по стоимости превышает добычу всех россыпных минералов и составляет 50 млн. долларов в год.

Глава 18

ОСОБЕННОСТИ РОССЫПЕЙ КАРСТОВЫХ РАЙОНОВ, ПОЛУПУСТЫННЫХ И ПУСТЫННЫХ ЗОН

- Особенности россыпей карстовых районов
- Особенности задержки частиц в микропонижениях сланцевого плотика
- Особенности россыпи на территориях с пустынным и полупустынным климатом

ОСОБЕННОСТИ РОССЫПЕЙ КАРСТОВЫХ РАЙОНОВ

Само по себе карстообразование, т. е. растворение известняков, доломитов, гипсов, хлористого натрия и калия, хотя и удаляет огромные объемы горных пород и изменяет рельеф, но россыпей не создает. На формирование россыпей влияют лишь формы рельефа, образуемые растворением горных пород — карстообразованием.

Имеется немало материалов, свидетельствующих о приуроченности повышенных содержаний золота и алмазов к созданным карстообразованием долинам, карстовым воронкам или другим карстовым углублениям, главным образом небольших размеров. На формирование россыпей других минералов наличие или отсутствие карстовых западин не оказывает существенного влияния.

Наличие карбонатных пород сказывается на особенностях коренных источников, а следовательно, и на россыпях, формирующихся при их разрушении. В районах широкого распространения карбонатных пород обнаруживается, что именно к территориям, сложенным ими, приурочиваются рудные тела, содержащие золото. В пределах Алданской золотоносной провинции (по И. С. Рожкову) из всех известных рудных тел 95% приурочены к территориям, сложенным в основном карбонатными толщами. Рудные тела в тех случаях, когда они залегают в карбонатных толщах, заметно увеличивают свою мощность по сравнению со смежными рудными телами, сформированными в песчаниках или аргиллитах. При этом обнаруживается, что химическое выветривание проникло по рудным зонам на глубину до 200 м и сопровождалось карстообразованием. Последнее повлияло здесь на свойства руд в зонах окисления, на крупность золотин, а отсюда и на россыпеобразование, в частности на дальность переноса золота.

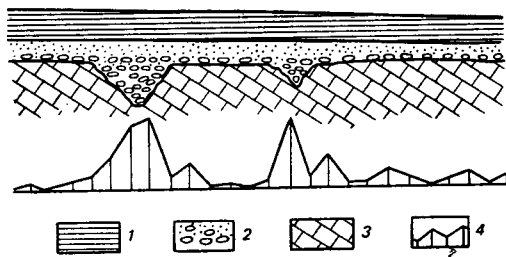
В ходе выветривания и карстообразования первичные кварц-пиритовые руды были превращены в охристо-глинистую массу, легко смешивающуюся в карстовые полости. Часто промышленная часть приурочена к низам глинистых отложений карстовых полостей. Большая часть золота представлена субмикроскопическими частицами размером 0,006 мм, и только около 5% золотин имеет размер порядка 1 мм и крупнее. Отдельные золотины достигают 15 мм. Более крупные золотины представляют собой губчатые хрупкие агрегаты, в которых золото находится в тесном сростании с гидроокислами железа, образуя петельчатые эмульсионные и нитеобразные структуры.

Развитие долин на территориях, сложенных карбонатными породами, идет несколько своеобразно. На плато, сложенных известняками,

сток вод и в настоящее время происходит под землей. При этом формируются подземные каналы и пещеры. Со временем кровля пустот обрушивается, и дальнейшее развитие проходит уже в результате деятельности не подземных, а поверхностных вод.

Карбонатные горные породы имеют малую твердость, поэтому обломочный материал, влекомый потоком по дну, легко стесывает их. Кроме того, вода, соприкасаясь с ними, быстро их растворяет. Таким образом, теоретически реки в карбонатных породах должны были бы врезаться быстрее. В действительности этого наблюдать не удается. Продольные профили речных долин в местах пересечения выходов известняков не испытывают устанавливаемых изменений. Этот факт заставляет думать, что относительная податливость ложа к размыву не так уж существенна для развития флювиальных форм рельефа. Однако долины рек на территориях, сложенных карбонатными породами, имеют некоторые особенности: а) повышенную крутизну склонов за счет сухости склоновых образований; б) бесчисленные углубления в поверхности плотика; в) широкое распространение врезанных меандр (излучин). Все эти особенности легко объяснимы. Наличие углублений в поверхности плотика имеет особенно большое значение для формирования аллювиальных россыпей. Известняки неоднородны в отношении разрушения. Изменения в их составе, структуре и трещиноватости, даже незначительные по величине, определяют неравномерное разрушения. Углубления в плотике бывают разных размеров. Много каверн глубиной 10—20 см, немало ям глубиной 0,5—2,0 м; реже встречаются воронки глубиной в несколько метров. Углубления заполнены грубым материалом с глинистой примазкой. Грубый материал представлен глыбами и галькой. Содержание золота в подобных понижениях резко повышено. По существу, весь промышленный пласт долин карстовых областей и образован из серии подобных больших и малых гнезд. Участки ложа долины с относительно ровной поверхностью обеднены, и в них, даже при богатых коренных источниках, промышленных концентраций может и не наблюдаться. Такие россыпи называются «корчажными» (рис. 18.1).

Рис. 18.1. Разрез аллювия и график хода изменения вертикальных запасов вдоль «корчажной» россыпи: 1 — пойменный аллювий; 2 — русловой, базальный и «корчажный» аллювий; 3 — коренные породы (доломитизированный известняк); 4 — график линейных запасов



Большое значение имеет наличие относительно небольших углублений в плотике (от 20—30 см до 2—3 м). Минералы тяжелой фракции, прежде всего золото, концентрируются в самой глубокой части карманов. Правда, иногда большие концентрации приурочены к повышениям плотика, непосредственно ниже по течению от кармана. Это может быть связано с выбросом материала из кармана во время прохождения катастрофического паводка, во время которого водоворот, приуроченный к карману, углублял последний и выбрасывал из него накопившийся материал. Однако в большинстве случаев карманы соз-

даются не водоворотами во время паводков, а деятельностью подземных вод — растворением и последующим присоединением под возникающими при растворении полостями.

Глубокие карманы — карстовые воронки, особенно те из них, которые образовались при просадках уже после формирования аллювиальной толщи, — не служат удобными коллекторами для концентрации тяжелых минералов. Ю. А. Билибин (1965) пишет: «Иногда в карстовых воронках и глубоких провалах карстового плотика ожидают найти необыкновенно богатые концентрации металла. Подобные ожидания обычно мало обоснованы. В первичных неровностях плотика они действительно могут быть весьма велики, в карстовых воронках они обычно весьма незначительны, в глубоких вторичных провалах плотика — в лучшем случае те же первичные концентрации, не сильно разубоженные». При резких колебаниях в высоте поверхности плотика (от 2—3 м до нескольких десятков метров) редко наблюдаются высокие концентрации. Если плотик довольно ровный, углубления совсем невелики (0,5 м), а мощность плотика 1,5—2 м, то равномерность распределения становится такой же, как и у россыпей с незакарстованным плотиком, т. е. имеется значительная неравномерность в распределении, но приуроченность наибольших концентраций только к корчам исчезает.

В большинстве случаев аллювий террас в карстовых районах, даже в районах широкого распространения вечной мерзлоты, не обводнен, а мерзлота часто отсутствует. Даже аллювий поймы увлажнен в меньшей степени, а многие долины большую часть года оказываются безводными. Для поисков и разведки безводные и слабообводненные грунты относительно благоприятны. Но при разработке россыпей карстовых районов малое количество воды, ее отсутствие большую часть года неблагоприятны. Легко добываемые благодаря отсутствию воды пески приходится транспортировать к воде, что сильно удорожает добычу. Приток карстовых вод зимой может вызывать наледи, на таяние которых уходит весной один-два месяца за счет промывочного сезона.

Карстообразование существенно влияет на формирование россыпей алмазов. Согласно В. С. Трофимову (1967), более половины алмазов, добываемых в Заире, извлекают из карстовых полостей при переработке «вторичных кимберлитовых брекчий», распространенных участками на площади в сотни квадратных километров. В разрезе отложений, выполняющих карстовые понижения, обычно фиксируется следующий разрез:

а. Суглинки ожелезненные бурые, прослоями опесчаненные, мощность 20—30 м.

б. Галечники, галька плохоокатанная, мощность около 3 м, местами алмазоносные.

в. Брекчии «вторичные кимберлитовые» — продукт переотложения кимберлитов. Грубый материал составляет 60%, песчано-глинистый заполнитель — 40%. Размер обломков 1—300 мм. Обломки представлены песчаниками, доломитами, гранитами, гранитогнейсами, долеритами, эколитами, обломками первичной брекчии, заполняющей воронки взрыва. В верхних горизонтах брекчии содержатся аутигенные выделения опала и халцедона. На глубине 25—30 м — прожилки и гнезда вторичного кальцита. В брекчии линзы и прослои песка или слабосцементированного песчаника с пропластками глин и каолиновые желваки. Содержание алмазов достигает местами 8—9 каратов на 1 м³. Мощность брекчии в карстовых понижениях несколько десятков метров.

г. Ниже лежат глины с обломками кремней и известняков.

В Южной Африке также известны карстовые воронки, в заполнении которых (плохоокатанной гальке и щебенке) содержания алмазов местами достигают несколько десятков карат на кубический метр, а запасы измеряются десятками тысяч карат. При этом рядом с воронками, где содержания высоки, имеются пустые воронки. Материал доставлялся в карстовые воронки преимущественно водными потоками.

Положение в рельефе карстовых воронок (приуроченность их к эрозионно-карстовым понижениям), а также петрографический состав выполнений воронок («брекчии» — плохоокатанные галечники) позволяют сделать следующее заключение.

1. Обломки и кристаллы алмаза несмотря на невысокий удельный вес в значительной мере задержались в понижениях рельефа (западинах русла).

2. Алмазы находятся в заполнителе между крупными обломками и, следовательно, задерживались в промежутках между ними и в микронеровностях ложа потока.

3. Поскольку алмазы встречаются за сотни километров от коренных источников, основная масса их миновала карстовые понижения.

4. Воронки служили коллекторами, где задерживался грубый материал, а также и мелкие частицы повышенного удельного веса.

ОСОБЕННОСТИ ЗАДЕРЖКИ ЧАСТИЦ В МИКРОПОНИЖЕНИЯХ СЛАНЦЕВОГО ПЛОТИКА

Задержка частичек золота и платины в небольших углублениях сланцевого плотика, по существу, явление того же характера, что и создание повышенных концентраций золота и алмазов в карстовых понижениях. В этом случае частицы задерживаются в небольших углублениях — в «щетке», часто наблюдаемой на контакте эродирующего потока со сланцевым ложом. В «щетке» поверхности сланцев оказываются иногда до половины всего золота, содержащегося в пласте.

Неровности поверхности сланцевого плотика возникают из-за неодинаковой прочности слоев или отдельностей, а также наличия многочисленных прожилок кварца и кальцита толщиной в несколько миллиметров. Эти прожилки возникают в сланцах при метаморфизации породы, т. е. одновременно с их основной особенностью — сланцеватостью. Они могут быть отчетливо наблюдаемы, если обнаженная поверхность не находилась долго в сфере выветривания.

Ю. А. Билибин (1965) придавал значение и «мягкости» сланцев, т. е. их малой механической прочностью и истираемостью. Наличие сланцеватости определяет также их легкую выкрашиваемость. По этим причинам все эрозионные процессы протекают в сланцах весьма легко и быстро. Эродирующий водный поток не только углубляет свою долину в толщу сланцев, но и расширяет ее. На территориях, сложенных сланцами, не менее активно, чем эрозионные, протекают склоновые процессы. Этому способствуют следующие причины: а) наличие большого количества глинисто-алевритовых частиц в продуктах выветривания сланцев; б) водоупорность подстилающих горных пород (сланцев), на которых лежат склоновые образования, что обуславливает повышенную (при прочих равных условиях) влажность склоновых образований; в) легкость захвата и выламывания материала из подстилающей коренной породы массами сползающих склоновых образований, т. е. эрозия поверхности коренных пород. В результате избирательной денудации в течение геологически длительного времени на территориях, сложенных глинистыми сланцами, междуручья, образованные мало-

прочными алевролитами и аргиллитами, быстро снижаются, а на вершинных поверхностях междуречий часто залегают относительно более устойчивые пачки песчаников.

Дайки магматических пород, кварцевые жилы, зоны густого кварцевого прожилкования, т. е. рудные зоны, довольно быстро (в геологическом летосчислении) начинают выступать над поверхностью из сланцевого элювия и склоновых образований. Выветривание выступающих из элювия горных пород при этом, естественно, резко интенсифицируется. Это способствует лучшему высвобождению частиц рудных минералов. При смещении материала по склонам непрочные обломки сланцев быстро истираются, превращаются в мелкозем, при этом быстро и полно высвобождаются рудные минералы. В водный поток поступает хорошо размельченная обломочная масса, и сепарация тяжелых минералов в водном потоке протекает быстро и полно.

В составе глинистых и алевритовых сланцев, в отличие от гнейсов, амфиболитовых или других кристаллических сланцев, преобладают минералы, уцелевшие от выветривания в далеком прошлом, и нередко пирит (различного происхождения). Это не способствует ни химическому выветриванию сланцев (поскольку в их составе преобладают устойчивые минералы), ни заполнению трещин тонкими частицами вновь образованных глинистых минералов. Наличие пирита, в случае если достаточно времени для его окисления с образованием сульфат-иона SO_4 (серной кислоты), активизирует химическое выветривание с разрушением плотика и лежащих на нем галечников, а особенно заполнителя гальки, с образованием массы глинистых материалов, а отсюда и глинистости плотикового аллювия. Последнее неблагоприятно для добычи и опробований, особенно из-за того, что пески становятся плохо промывистыми.

Особенно важным для образования россыпей выступает не состав и даже не «мягкость» сланцеватых горных пород, а «мелкая» неоднородность сланцев, обусловленная сланцеватостью, тонкой слоистостью при неоднородности слоев.

Многие исследователи придают большое значение воздействию воды на выступающие на несколько миллиметров края плиток, образующих сланцевый плотик. Как предполагают, при этом возникает вибрация плиток сланцев.

Замечено, что встречное или попутное (по отношению к течению воды) направление падения плиток и трещин сланцевого плотика также имеет значение для улавливания частиц тяжелых минералов. При попутном падении плиток и трещин условия для улавливания менее благоприятны (хотя для вибрации направление падения поверхностей плиток и трещин вряд ли имеет существенное значение).

Наличие инородных частиц в трещинах пород, слагающих ложе потока, свидетельствует об особенностях срезания потоком своего ложа. Сланцевых плиток, лишенных вымытых частиц, практически не бывает. Следовательно, всегда в сланцевом плотике есть трещины. Поэтому нельзя думать, что сначала идет срезание плотика, потом образование трещин, потом проникновение мелких частичек в плотик. Вместе со срезанием поверхности плотика одновременно с ним происходят углубление и расширение трещин, проникновение в них мелкозема. Таким образом, и при углублении долины (срезании плотика) одновременно происходят расширение трещин во вновь экспонируемой породе и проникновение в плотик частиц россыпеобразующих минералов.

Изучение плитков — их трещиноватости, неровностей их поверх-

ности — позволяет сделать некоторые выводы, существенные для понимания развития рельефа. Ложе потока оказывается всегда трещиновато, особенно если его слагают сланцевые породы. Трещины наблюдаются и в плотиках, образованных другими породами, но там сеть их реже, они менее глубоки. Раньше эрозии (сошлифования или стирания поверхности коренного ложа) идет «подготовительная работа» — углубление и расширение трещин, специфическое химическое выветривание. И то и другое облегчает эрозию.

ОСОБЕННОСТИ РОССЫПЕЙ НА ТЕРРИТОРИЯХ С ПУСТЫННЫМ И ПОЛУПУСТЫННЫМ КЛИМАТОМ

На территориях, где климат в настоящее время засушливый и сток наблюдается только после редких ливневых дождей, также известны россыпи, главным образом аллювиальные. Все они, за редкими исключениями, образовались в далеком прошлом, когда климат был более влажным. В те времена формирование долин протекало тем же путем, что и в районах с гумидным климатом в настоящее время. Но после того как климат стал пустынным, происходило постепенное разрушение форм рельефа, созданных флювиальными процессами. С изменением климата не только прекратились или ослабли флювиальные процессы, но и стали иными процессы развития склонов и процессы выветривания.

На территориях с пустынным климатом во многих местах еще уцелели долины рек. Они называются в Средней Азии узбоями, в Северной Африке — вадами. В других пустынных районах реликтовые флювиальные формы имеют свои названия.

Как же меняются долины при установлении пустынного климата? Лучше сохраняются крупные долины. При прекращении поверхностного стока в их бассейнах они еще некоторое время принадлежали «транзитным рекам», по ним продолжался сток, и тем самым поддерживались формы пойменного рельефа и русловые. По малым флювиальным формам сток прекратился раньше, и во многих равнинных пустынях уже едва различимы их следы.

В горах с пустынным климатом дренажная сеть (системы долин) вплоть до самых вершинных разветвлений сохраняется и поддерживается за счет редких ливневых дождей. Склоновые процессы в горах с пустынным климатом ослаблены не в меньшей мере, чем эрозионная деятельность рек. Ослаблено и выветривание. В результате нет процессов, которые могли бы быстро уничтожить водноэрозионный рельеф. Густая сеть долин сохраняется и в пустынных горах Средней и Центральной Азии, Аравийского полуострова, Ирана, Сахары, Южной и Северной Америки.

В полупустынных горных районах развитие долинной сети не прерывается: формы флювиального рельефа, сформированные ранее, год за годом продолжают свое развитие. Должна быть отмечена хорошая сохранность русловых форм рельефа, формирующихся при максимальных расходах, поскольку межбазальные малые расходы почти отсутствуют и преобразования форм, образующихся в паводки, не происходит за время между ними. Тем не менее все фации аллювия, характерные для рек гумидного климата, выражены хорошо и на реках полупустынь. Сходны и нормальные мощности аллювия, если сравнивать реки гумидных и полупустынных зон с близкими максимальными расходами.

Сравнение разрезов аллювиальных оловянных россыпей Центрального Казахстана, Северной Монголии с разрезами таких же россыпей

Северо-Востока не позволяет выделить какие-либо специфические черты россыпей полупустынных районов. Правда, упомянутые разрезы принадлежат древнему аллювию, формировавшемуся при достаточно влажном климате.

В целом при поисках россыпей в пустынных и полупустынных районах необходимо стремиться к реконструкции долинной сети во влажные эпохи, когда условия для формирования россыпей были такими же благоприятными, как и на территориях с гумидным климатом в настоящее время.

Заключение

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПОИСКАХ РОССЫПЕЙ

Сбор ранее известных данных. Геоморфологические исследования в целом направлены на оценку территории в отношении наличия в ее пределах россыпей, на выбор и обоснование объектов для постановки заверочных работ и оценку конкретных объектов — долин, участков побережья и т. п. Научную основу поисков россыпей составляет реконструкция истории формирования рельефа данной территории. Россыпи золота, касситерита, алмазов, платины, пьезокварца и других россыпных минералов создаются одновременно с формированием рельефа и теми же самыми силами и агентами. Разрушение (разубоживание) россыпей, их погребение производят те же агенты. Не все рельефообразующие агенты и процессы в равной мере интересуют исследователя россыпей. Особенно важно знать закономерности развития речных долин, т. е. как происходит углубление и расширение долин, формирование перестративных и констративных толщ аллювия. Но изучение деятельности и других агентов рельефообразования также имеет существенное значение. Мы старались сосредоточить внимание и на том, что должно быть в круге внимания при специализированных геоморфологических исследованиях, и на том, какие закономерности геоморфологии как науки должны быть применены с наибольшей отдачей.

В настоящее время по любому району, где есть россыпи, имеются многочисленные и надежные данные о геологическом строении. Заметно меньше данных по вопросам металлогении. Однако именно они и нужны в первую очередь при выяснении вопроса формирования россыпей. Особое внимание при сборе данных о геологическом строении для специализированных геоморфологических исследований необходимо обращать на сведения: а) о гидротермах, б) о жилах магматических пород, в) об экзо- и эндоконтактах гранитоидов, г) о зонах метасоматоза. Для поисков золотых россыпей, например, особенно важны данные о густоте мезотермальных кварцевых жил и зон прожилкования, для поисков россыпей касситерита — о различных жильных образованиях, для поисков россыпей алмазов — о трубках взрыва и т. д.

После нанесения на карту поисково-разведочных данных легко составить представление о степени изученности территории в отношении поисков россыпей. Тут важно определить: а) насколько плотна

сеть разведочных поперечников, т. е. охарактеризованы ли все долины, в том числе первого-второго порядков; есть ли поперечники сужениям и расширениям долин, много ли недобитых шурфов и скважин; б) захвачены ли профилями террасоувалы и террасы или же все работы велись по поймам рек; в) как «легли на рельеф» буровые и шурфовые линии. Если скважины проходились через 10 м, это не имеет большого значения, а если реже, многие элементы рельефа долин могли получить на профилях неправильную характеристику. Важен не обособленный анализ отдельных данных, а именно сочетание данных карты и разрезов.

Кроме данных о геоморфологическом строении долин в литературе в том или ином количестве имеются сведения о возрасте на основе биостратиграфических данных (спорово-пыльцевые и диатомовые анализы, списки макрофлоры, фауны позвоночных, малакофауны). Оценивая этот материал, необходимо стремиться получить первичные данные.

Осторожно следует пользоваться данными об абсолютном возрасте. Радиоуглеродный метод дает превосходные числовые характеристики в пределах голоцена (до периода полураспада). Если же по радиоуглеродному анализу дан возраст 20—50 тыс. лет, то эти данные лучше использовать как подсобные. Калий-аргоновый метод тоже требует осторожного использования.

Имеются обычно утверждения о наличии в районе исследований поверхностей выравнивания. Такие утверждения нуждаются в особенно тщательном обосновании. Если обоснований не приводится или приводятся три-четыре профиля, сделанных по карте масштаба 1 : 200 000 и мельче, то подобные обоснования ненадежны. В основе обоснований должен лежать тщательный морфометрический анализ с картированием фрагментов древних поверхностей по точным картам и многочисленным профилям по картам масштаба 1 : 50 000 и крупнее.

При поисках аллювиальных россыпей в результате суммирования имеющегося фактического материала, еще до выезда в поле необходимо составить представление о строении долин исследуемого района, т. е. выяснить, обнаружены ли остатки подувальных долин, погребенных тальвегов. Лучше фиксировать эти представления на предварительной специализированной геоморфологической карте и сводных поперечных профилях долин. Это во многом поможет при полевых исследованиях — направит их. Из материалов, непосредственно относящихся к россыпям, прежде всего тщательно рассматриваются карты россыпной золотоносности (оловоносности, алмазносности и др.).

Геоморфолог должен с максимальной подробностью собрать все данные о россыпях, тщательно их продумать, ни в коем случае не попадая под влияние авторитетов или собственной оригинальной или «любимой» гипотезы. Нельзя быть «твердо уверенным» в своей правоте и отстаивать, опираясь на интуицию, свою точку зрения.

Оценка геоморфологической обстановки. Начинать приходится с оценки типа рельефа. Большая часть россыпей находится в долинах территории с низкогорным рельефом. Но немало россыпей обнаружено и на территориях с меньшими высотами, в районах, где отдельные сопки и сопочные массивы перемежаются с небольшими участками равнинного рельефа — межсочными котловинами. На приподнятых денудационных равнинах также иногда наблюдаются довольно значительные россыпи. Многие россыпи приурочены как раз к выходу долины из гор на равнину, в пределах равнины, на которой рыхлые аккумулятивные толщи, разнообразные по генезису, скрывают довольно сильно расчле-

ненный эрозионный рельеф. В среднегорье также местами имеются россыпи. Однако если высоты (абсолютные) среднегорного рельефа 2000—2500 м и больше, россыпи встречаются крайне редко. Имеются россыпи и на высоких плато. Характер рельефа определяет глубину эрозионных вырезков (долин), интенсивность денудации и в конечном счете за геологически длительное время величину денудационного среза. Определение его величины существенно.

Широко распространено представление о том, что эпохе образования россыпей обязательно должна предшествовать эпоха выравнивания рельефа, формирования пенеплена и образования мощных кор выветривания. Однако, как говорилось выше, такой этап благоприятен для образования россыпей, но совершенно необязателен. Например, во многих крупных золотоносных районах наличие или отсутствие коры выветривания не определяло богатство россыпей. Здесь склоновой денудацией и речным размывом переработаны большие по объему и довольно богатые коренные источники.

Реконструкция истории формирования рельефа — основа оценки территории на обнаружение россыпей. Опыт изучения материалов по всем россыпным районам СССР показывает, что в настоящее время основным источником наращивания запасов не могут быть современные русловые и пойменные («долинные») россыпи. Главное значение для поисковых работ имеют в настоящее время древние россыпи, которые после образования подвергались разрушению или погребению, и поэтому для их выявления необходимо изучение не столько закономерностей образования россыпей, сколько изучение закономерностей их сохранения — консервации, преобразования (в том числе и разубоживания), погребения под толщами более молодых отложений. Выяснение геоморфологических условий сохранения древних россыпей — главное направление, по которому может быть достигнуто приращение запасов россыпных минералов.

Геоморфологические условия сохранения россыпей могут быть установлены только путем реконструкции истории формирования рельефа. В формировании рельефа принимают участие те же самые процессы, что и в разрушении или сохранении древних россыпей. Действуют одни и те же агенты и факторы. Именно это обстоятельство делает реконструкцию истории развития рельефа научной основой поисков древних россыпей, оценки золотоносности той или иной территории.

Возникает вопрос: от какого возрастного рубежа должна изучаться история формирования рельефа? Рубеж этот не всегда одинаков. Основное внимание должно отводиться позднекайнозойской — неоген-четвертичной истории. Решительное преобразование рельефа повсеместно началось со времени активизации тектонических движений, с олигоцена и особенно со второй половины миоцена. Плохо, но местами сохранились и мезозойские формы рельефа с корами выветривания. Мезозойские конгломераты могли служить в ряде случаев и промежуточными коллекторами. Размыв мезозойских кор выветривания способствовал мобилизации полезного компонента. В таком случае историю развития рельефа приходится изучать, начиная с начала мезозоя. В каждом районе по-разному приходится подходить к выбору исходного рубежа для начала реконструкции истории развития рельефа.

Литература

- Аксенов А. А. и др. Изучение процессов образования и захоронения современных прибрежных россыпей. — В кн.: Геология россыпей. М., 1965, с. 41—52.
- Аксенов А. А. О рудном процессе в верхней зоне шельфа. М., 1972.
- Аксенова В. Д., Генкин П. О., Дабкии И. Е. Влияние эрозийного среза на распределение россыпей в золотоносных зонах Яно-Колымского пояса. — В кн.: Проблемы геологии россыпей. Магадан, 1970, с. 274—278.
- Ананьев Г. С. Формирование вершинных поверхностей. М., 1976, с. 172.
- Беккер А. Г., Попов М. В., Белая Б. В. Новые данные о строении Средне-Берелехской впадины, возрасте и золотоносности ее отложений. — В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР, вып. 21. Магадан, 1974, с. 73—77.
- Билибин Ю. А. Основы геологии россыпей. М., 1955, с. 472.
- Быховский Л. З. и др. Геологические критерии поисков россыпей. М., 1981, с. 253.
- Веклич М. Ф. Общие условия образования россыпей. — В кн.: Россыпные месторождения титана в СССР. М., 1976, с. 231—242.
- Волярович Г. П., Шохор Ф. А. Связь россыпей золота с коренными источниками на примере Дальнего Востока. — В кн.: Проблемы геологии россыпей. Магадан, 1970, с. 147—154.
- Вопросы накопления и распределения тяжелых минералов в прибрежно-морских наносах. Рига, 1960.
- Геология оловянных россыпей СССР, их поиски и оценка. Под ред. С. Ф. Лугова. М., 1979, с. 296.
- Геология россыпей золота Северо-Востока СССР. Под ред. О. Х. Цопанова. Магадан, 1979, с. 200.
- Генкин П. О. К вопросу о связи особенностей развития речных долин разных порядков с масштабами их золотоносности. — Колыма, 1975, № 3, с. 35—37.
- Гончаров В. Н. Динамика русловых потоков. Л., 1962, с. 452.
- Деггенс З. Г. Геохимия осадочных образований. М., 1967, с. 297.
- Желамский А. Г. Продуктивные эпохи россыпеобразования в связи с развитием разновозрастных поверхностей размыва и аккумуляции (на примере Неро-Колымского междуречья). — В кн.: Проблемы геологии россыпей. Магадан, 1970, с. 175—181.
- Золотарев А. Г. Рельеф и новейшая структура Байкало-Патомского нагорья. Новосибирск, 1974, с. 120.
- Золотарев А. Г. Геоморфологические условия формирования золотоносных россыпей Северо-Байкальского нагорья. — В кн.: Геология россыпей. М., 1965, с. 180—187.
- Казакевич Ю. П., Божинский А. П. Закономерности формирования и размещения золотоносных россыпей в Алтае-Саянской складчатой-области. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых. М., 1960, с. 164—171.
- Казакевич Ю. П. Условия образования и сохранения сложных погребенных россыпей золота. М., 1972, с. 215.
- Караушев А. В. Речная гидравлика. Л., 1969, с. 414.
- Козловский Г. М., Зубов Г. К. Этапы развития рельефа и перспективы древних (дочетвертичных) и четвертичных россыпей Казахстана. — В кн.: Древние и погребенные россыпи СССР, т. 2. Киев, 1977, с. 65—71.
- Ламакин В. В. Динамические фазы речных долин и аллювиальных отложений. Землеведение, т. 2(42), М., 1948, с. 154—187.
- Леонтьев О. К. Геоморфология морских берегов и дна. М., 1955.

- Меро Дж. Минеральные богатства океана. М., 1969.
- Миллер В. Г. Антропогенные оледенения в бассейне р. Эльги и их влияние на процессы рельефообразования. — В кн.: Проблемы геологии россыпей. Магадан, 1970, с. 210—212.
- Момджи Г. С. Теоретические основы и методика поисков россыпных месторождений титана и циркония. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, т. 4. Россыпи. М., 1960, с. 44—57.
- Нестеренко Г. В. Происхождение россыпных месторождений. Новосибирск, 1977, с. 312.
- Павлидис Ю. А. Некоторые особенности образования современных прибрежных отложений в пределах вулканического архипелага. М., 1969.
- Павлов Г. Ф., Травин Ю. А. Некоторые факторы, контролирующие размещение россыпей в полиминеральных провинциях. — В кн.: Актуальные проблемы геологии золота на Северо-Востоке СССР. Магадан, 1972, с. 96—101.
- Патык-Кара Н. Г., Логинова И. Э. Гравитационная дифференциация тяжелых минералов в элювиально-склоновых отложениях как показатель интенсивности денудационных процессов. — В кн.: Геоморфологические методы поисков эндогенного оруднения. Чита, 1968, с. 63—67.
- Пиотровский М. В., Синюгина Е. Я. Геоморфологическое изучение россыпей и задачи его дальнейшего развития. — Материалы Второго геоморфологического совещания. М., 1959, с. 28.
- Потемкин К. В., Спицын А. Н. Редкие элементы в россыпях зарубежных стран. М., 1963.
- Проблемы геологии россыпей. Магадан, 1970.
- Прокопчук Б. И. Алмазные россыпи и методика их прогнозирования и поисков. М., 1979, с. 268.
- Процессы прибрежно-морского россыпеобразования. М., 1977.
- Разумихин Н. В. Экспериментальные данные о распределении тяжелых минералов в русловом аллювии. — Вестн. Моск. ун-та. Сер. геол. и геогр., 1959, № 2, с. 74—83.
- Россыпные месторождения титана СССР. М., 1976, с. 228.
- Рыжов Б. В. К вопросу о геоморфологии и строении четвертичного покрова верховьев эрозионной сети Шилкинско-Аргунского междуречья. — Мат-лы Всесоюзного совещания по изучению четвертичного периода, т. 3, 1961, с. 127—135.
- Сигов А. П. Историческая преемственность россыпей. — В кн.: Геология россыпей. М., 1965, с. 28—33.
- Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. М., 1969, с. 487.
- Смолдырев А. Е. Методика и техника морских геолого-разведочных работ. М., 1978.
- Соколов Б. Н. Образование россыпей алмазов. Основные проблемы. М., 1982, с. 94.
- Трофимов В. С. Закономерности размещения и образования алмазных месторождений. М., 1967, с. 229.
- Шило Н. А. Основы учения о россыпях. М., 1981, с. 383.
- Шофман И. А. Строение мезозойских россыпей в северо-восточной части Патомского нагорья (Ленский золотоносный район). — В кн.: Древние и погребенные россыпи СССР, т. 2. Киев, 1977, с. 98—102.
- Шуб И. З. Особенности формирования и размещения древних россыпей в пределах Зауральского пенеплена. — В кн.: Древние и погребенные россыпи СССР, т. 2. Киев, 1977, с. 62—65.

Оглавление

| | |
|--|------|
| Введение | 3 |
| Глава 1. Общие сведения о россыпях | 5 |
| Глава 2. Коренные источники россыпей золота | 11 |
| Глава 3. Коренные источники россыпей платины, олова, алмаза, ильменита, рутила, циркона, пьезокварца | 24 |
| Глава 4. Вскрытие и разрушение коренных источников | 29 |
| Глава 5. Россыпи элювиальные и кор выветривания | 41 |
| Глава 6. Россыпи склонов (делювиальные) | 53 |
| Глава 7. Формирование долинной сети и образование россыпей | 65 |
| Глава 8. Строеие речных долин и россыпи | 72 |
| Глава 9. Распределение золота в аллювии по вертикали и в поперечном разрезе | 84 |
| Глава 10. Распределение золота вдоль по долине | 93 |
| Глава 11. Особенности аллювиальных россыпей платины, касситерита и алмазов | 105 |
| Глава 12. Особенности аллювиальных и дельтовых россыпей ильменита, рутила, лейкоксена и циркона | 119 |
| Глава 13. Россыпи вершинных разветвлений долинной сети | 129 |
| Глава 14. Древние аллювиальные россыпи | 135 |
| Глава 15. Россыпи районов древнего оледенения | 154 |
| Глава 16. Морские россыпи | 164 |
| Глава 17. Россыпи шельфа | 178 |
| Глава 18. Особенности россыпей карстовых районов, полупустынных и пустынных зон | 192 |
| Заключение. Методические основы геоморфологических исследований при поисках россыпей | 199 |
| Литература | 202: |

Сергей Сергеевич Воскресенский
ГЕОМОРФОЛОГИЯ РОССЫПЕЙ

Зав. редакцией И. И. Шехура
Редактор С. А. Останина
Обложка художника И. С. Клейнарда
Художественный редактор Б. С. Вехтер
Технический редактор К. С. Чистякова
Корректоры Л. А. Айдарбекова, Л. С. Ключкова

ИБ № 2157

Сдано в набор 20.11.84.
Подписано к печати 21.05.85.
Л-68304 Формат 70×100/16
Бумага тип. № 1
Гарнитура литературная.
Высокая печать
Усл. печ. л. 16,9 Уч.-изд. л. 17,52
Тираж 1400 экз. Заказ 538
Цена 60 коп. Изд. № 3234

Ордена «Знак Почета»
издательство Московского университета.
103009, Москва, ул. Герцена, 5/7.
Типография ордена «Знак Почета»
изд-ва МГУ.
119899, Москва, Ленинские горы