

**Н. Г. БОНДАРЕНКО**



**ОБРАЗОВАНИЕ, СТРОЕНИЕ  
И РАЗВЕДКА РОССЫПЕЙ**

## “СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
От редактора . . . . .	3
Введение . . . . .	7
Поведение тяжелых устойчивых минералов в динамической водно-аллювиальной среде . . . . .	10
Образование россыпей . . . . .	18
Распределение минералов в россыпях . . . . .	22
Преобразование россыпей и критерий окончательной их разведанности . . . . .	27
Примеры из практики . . . . .	35
Достоверность данных разведочной выработки . . . . .	46
Замечания . . . . .	51
Список литературы . . . . .	56

Н. Г. БОНДАРЕНКО

553.062

ОБРАЗОВАНИЕ, СТРОЕНИЕ  
И РАЗВЕДКА РОССЫПЕЙ

1217



МОСКВА «НЕДРА» 1975



**Бондаренко Н. Г.** Образование, строение и разведка россыпей. М., «Недра», 1975, 56 с.

Рассмотрены проблема определения общего количества тяжелых минералов в аллювиальных россыпях, а также причины, препятствующие перемещению тяжелых устойчивых минералов, находящихся в механической смеси с аллювием. Приведена закономерность количественного распределения тяжелых минералов в аллювиальных россыпях, что Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий зарегистрировано в качестве научного открытия за № 127. Рассмотрены вероятности возникновения знаков ошибок при постановке геологоразведочных работ на россыпных месторождениях.

Книга предназначена для инженерно-технических работников геологоразведочных и эксплуатационных предприятий, занимающихся разведкой и эксплуатацией россыпных месторождений.

Таблица 1, иллюстраций 20, список литературы — 32 назв.

## ОТ РЕДАКТОРА

Еще в 1957 г. Н. Г. Бондаренко опубликовал небольшую книжку, в которой им были сформулированы некоторые важные новые выводы о строении и формировании аллювиальных золотоносных россыпей. Они сводились к следующим двум основным положениям. Во-первых, содержащееся в аллювии свободное от породы золото не перемещается водными потоками вниз по течению. В связи с этим при врезании речных долин перерабатываемые водотоками древние террасовые россыпи как бы проектируются на возникающий новый более низкий геоморфологический уровень (более низкую террасу или пойму), не испытывая смещения по горизонтали и часто сохраняя даже почти неизменными свои контуры. Во-вторых, распределение золота или иного тяжелого минерала по длине аллювиальной россыпи характеризуется постепенным повышением его содержания на отрезке непосредственно ниже питающего рудного тела и последующим плавным убыванием содержания к нижнему концу россыпи. При этом, как следствие непрерывности золота, россыпь всегда должна быть непрерывной, а мнимые разрывы, обнаруживаемые в ней при поисково-разведочных работах, указывают лишь, что там, где они выявлены, следует искать участки россыпи, расположенные на других, не разведанных геоморфологических уровнях (склонах долины, более высоких речных террасах). Эти положения базировались на многочисленных фактических данных, накопленных автором за время многолетней работы по разведке и эксплуатации россыпей Колымского бассейна.

Первоначально выводы Н. Г. Бондаренко вызвали недоверие со стороны геологов, поскольку они не согласовывались со многими сложившимися в геологии россыпей представлениями, а первый из них казался даже противоречащим элементарным законам физики. С течением времени накапливалось, однако, все больше и больше фактов, подтверждавших их принципиальную правильность. Сам Н. Г. Бондаренко и лица, ставшие на его точку зрения, доказали на практике, что кладя ее в основу методики разведки, удается резко повысить эффективность последней и в ряде случаев обнаружить неиспользованные промышленные запасы золота даже на казалось бы полностью отработанных месторождениях. В настоящее время не остается сомнений, что Н. Г. Бонда-

ренко удалось открыть чисто эмпирическим путем действительно весьма важные новые закономерности, во многом изменяющие наши представления об аллювиальных россыпях и имеющие перво-степенное практическое значение.

В то же время, если справедливость эмпирических закономерностей, установленных Н. Г. Бондаренко, не вызывает сомнений, то его объяснение этих закономерностей далеко не бесспорно. Будучи маркшейдером по образованию и недостаточно ориентируясь в области геологии и гидрологии, он не смог избежать односторонности в трактовке ряда фактов и процессов и с некоторыми его утверждениями нельзя целиком согласиться. Это и побуждает предпослать авторскому тексту настоящие редакторские замечания.

Прежде всего, Н. Г. Бондаренко неправ, утверждая, что свободное золото абсолютно не поддается переносу водными потоками. Эта абсолютизация проистекает из того, что он недоучитывает статистический характер открытой им действительно важной закономерности. Он совершенно правильно рассматривает непременность золота как следствие его очень большой плотности, благодаря которой частицы золота легко задерживаются даже малыми неровностями ложа водного потока и столь же легко погружаются в толщу аллювия, являющегося рыхлой сыпучей массой, сложенной гораздо более легкими минералами. Заслуживает внимания указание Н. Г. Бондаренко на вибрацию, испытываемую аллювием под воздействием потока, как на причину погружения в нем зерен тяжелых минералов. Ранее этот фактор ускользал из внимания исследователей. Но в своих рассуждениях он сильно упрощает сущность рассматриваемых явлений.

Так, разбирая процесс захвата тяжелых минеральных зерен неровностями дна, Н. Г. Бондаренко совершенно не учитывает турбулентности водных потоков, полагая, что последние оказывают на твердые частицы только горизонтальное давление. Между тем, возникающие в турбулентном потоке вихревые структуры вызывают подъемную силу, стремящуюся оторвать частицы ото дна и поднять их в толще воды. Там, где течение особенно быстрое и бурное, это приводит к вымыванию не только песчаных и гравийных частиц, но и мелкой гальки даже из достаточно больших углублений плотика. В какой-то степени этому вымыванию неизбежно должны подвергаться и золотины, во всяком случае относительно мелкие, вовлекаемые тем самым в процессе сальтации и, следовательно, испытывающие хотя бы ограниченное горизонтальное смещение. Чем мельче размеры частиц, тем в меньшей степени сказываются различия их плотности на гидравлических свойствах, и уже в пылевидных фракциях их поведение в потоке в основном определяется геометрическими размерами, а не плотностью. В связи с этим мелкие золотины могут переноситься даже во взвешенном в воде состоянии. Правда, этот процесс, по-видимому, сильно ограничивается особенностями гранулометрии аллю-

вия горных рек, с которыми и связано подавляющее большинство промышленных россыпей золота. Поясним это.

Аллювий горных рек всегда отличается грубым и неоднородным составом. Его основу образуют разного размера гальки, промежутки между которыми заполнены смесью гравийных, песчаных, пылеватых, а иногда и глинистых частиц. Эта неоднородность складывается уже в ходе переноса потоком обломочного материала. Гальки, перекатываемые по дну, движутся медленнее самой воды. Вода же вместе со взвешенными в ней мелкими частицами, обгоняя гальку, как бы фильтруется через образуемый ею медленно движущийся каркас. Как и при всяком процессе фильтрации, резко падает степень турбулентности движущейся воды. Тем самым внутри галечного слоя резко понижается подъемная сила потока и происходит быстрая отсадка более тяжелых частиц, прежде всего золота (Шанцер, 1965). Это обстоятельство сильно понижает подвижность даже мелких частиц последнего, но вряд ли может полностью ей препятствовать.

Представляется, что именно медленное смещение вниз по течению свободного золота, поступающего в сферу деятельности водного потока со склонов, является наиболее вероятной причиной растянутости россыпей вдоль долин и уменьшения крупности золота к нижним их концам. Настаивая на полной несмещаемости свободного золота, Н. Г. Бондаренко объясняет то же явление постепенным высвобождением золота из переносимой потоком гальки по мере ее выветривания и разрушения. Несомненно, что подобный процесс осуществляется в природе. Но его масштабы явно переоцениваются Н. Г. Бондаренко. Кроме того, он неправ, считая, что за редкими исключениями, золото поступает в россыпь исключительно в виде включений в крупные обломки рудоносных пород. Прямые наблюдения показывают, что на выходах золотоносных кварцевых жил, наиболее распространенного источника россыпного золота, они нередко превращены выветриванием в мелкую сыпучку, из которой высвободившееся золото попадает через склоновые отложения на дно долин.

По указанным причинам следует, видимо, говорить не об абсолютной несмещаемости золота «в водно-аллювиальной среде», как выражается Н. Г. Бондаренко, а лишь о его практической неперемещаемости. Эта практическая неперемещаемость приводит к тому, что за один или даже несколько эрозионных циклов золотоносные россыпи действительно не испытывают заметного смещения вниз по долине. Но ведь развитие речных долин длится миллионы, а то и десятки миллионов лет. За это время сменяются многочисленные эрозионные циклы, от большинства которых ныне не сохранилось никаких различимых следов. Накапливаясь в течение столь огромных промежутков времени, даже ничтожные на первый взгляд смещения зерен золота мало-помалу успевают суммироваться в виде «растаскивания» россыпи на достаточно значительное расстояние.

С позиций абсолютной неперемещаемости свободного золота Н. Г. Бондаренко объясняет и случаи его концентрации в россыпях на двух и более лежащих друг над другом уровнях в толще аллювия. Он считает, что во все эти разделенные пустыми промежутками золотоносные слои золото попало исключительно сверху, погрузившись внутрь аллювия после высвобождения из перенесенной потоком и разрушенной выветриванием гальки. Надо сказать, что подобное объяснение является явно натянутым. Несравненно более просто понимаются подобные случаи при допущении переноса потоком части свободного золота и концентрации его в слоях аллювия по мере накопления. Особенно это относится к таким россыпям, в которых многочисленные золотоносные пласты и линзы рассредоточены в мощной толще аллювиальных отложений. А такие россыпи описаны, в частности, и для бассейна Колымы. Поэтому установленные Н. Г. Бондаренко закономерности вряд ли следует рассматривать как совершенно универсальные. По-видимому, существуют и такие россыпи, которые им подчиняются не в полной мере. Это, однако, ни в малейшей степени не обесценивает основных выводов Н. Г. Бондаренко, действительных полностью для наиболее широко распространенного, наиболее богатого и промышленно важного типа аллювиальных россыпей.

Профессор *Е. В. ШАНЦЕР*

## ВВЕДЕНИЕ

Значительная часть некоторых видов полезных ископаемых добывается из россыпных месторождений. Естественно, в целях наиболее рациональной постановки разведочных работ и возможно более полного извлечения минералов из недр возникает необходимость изучения их как своеобразных геологических образований. Россыпи являются вторичными месторождениями, образующимися за счет разрушения более древних коренных месторождений. По вопросу о механизме образования россыпей (имеются в виду аллювиальные россыпи) и закономерностях распределения минералов в них существуют довольно большие разногласия.

Одни геологи (В. М. Крейтер и др.) считают, что россыпи представляют собой наиболее простой тип месторождений полезных ископаемых и поэтому не заслуживают серьезного внимания. Другие (Билибин, 1956; Рожков, 1967; Кухаренко, 1963; С. Г. Желнин; Шило и др., 1970 и др.), наоборот, рассматривают россыпи как весьма сложные геологические образования, возникающие вследствие проявления многих факторов. К ним относятся в первую очередь особенности строения исходных коренных рудных тел и подстилающих коренных пород ложа долины, режим водотока, тектоника, геоморфология, климат района и др. Неодинаковая степень проявления этих факторов в период формирования россыпей приводит к весьма сложному распределению полезных компонентов и в результате к большому разнообразию россыпей. Любая отдельно взятая россыпь в сущности является неповторимым созданием природы. Поэтому при разведке каждая россыпь требует к себе индивидуального подхода.

Существующие в настоящее время методы разведки и отработки россыпей сопровождаются неоправданно большими затратами средств и потерями минералов в недрах. Обычно после обнаружения россыпи начинается ее разведка, которая осуществляется, как правило, в три этапа: поисковой, предварительной и детальной разведки. Казалось бы, что трехступенчатый метод разведки должен гарантировать полное выявление минералов в россыпи и получение сведений об особенностях их залегания. Роль геологической службы прииска в таком случае должна сводиться лишь к контролю за отработкой месторождения. В действительности дело обстоит иначе. С первых дней отработки у приисковой

геологической службы возникает ряд вопросов, и месторождения начинают доразведывать. Доразведки зачастую проводят до конца отработки россыпи. В результате отработанное месторождение по количеству пройденных разведочных выработок оказывается в 2, а то и в 3 раза переразведанным. Причем нет уверенности в том, что на этом месторождении полностью выявлены и добыты полезные минералы.

Пока на приисках господствовали кайло, лопата и тачка отсутствие надлежащего теоретического критерия, на основе которого можно было бы судить о достоверности разведочных работ, не влекло за собой каких-либо отрицательных последствий. Но когда стали использовать мощную технику, то это привело к переработке значительных объемов пустой породы и преждевременному закрытию приисков. А виной всему недостаточная изученность россыпей, с чем нельзя мириться.

Многoletнее изучение россыпей убеждает автора в том, что строение их не такое простое, как это кажется на первый взгляд, но и не настолько сложное, чтобы нельзя было найти в них никаких аналогий. Из многих известных факторов, участвующих в формировании россыпей, одни действительно определяют основные особенности их строения, другие влияют на последние в значительно меньшей степени, чем это принято считать, а третьи вообще не имеют никакого отношения к ним и их роль в формировании россыпей является просто кажущейся. Сужение круга факторов, определяющих строение россыпей, дает возможность установить аналогии в их строении, которые в конечном счете и позволяют решить проблему рациональной постановки разведочных работ на россыпях и тем самым избежать бесконечных их доразведок.

В ранее опубликованной работе автора «Некоторые вопросы геологии россыпей» (Бондаренко, 1957) на примере строения значительного количества россыпей Колымского бассейна было установлено, что золото в свободном от жильной породы состоянии и находящееся в механической смеси с аллювием не мигрирует по простиранию долин в период размывов и была высказана гипотеза образования россыпей. Суть ее сводится к тому, что тяжелые минералы переходят в свободное состояние не на месте выходов рудных тел на дневную поверхность, как это принято считать, а в ложе долины из жильной породы в период постепенного ее переноса и дробления. На основе этой гипотезы были установлены две весьма важные в практическом отношении закономерности распределения золота в россыпях, что в последующем позволило существенно повысить эффективность разведочных работ на них.

Однако в названной работе имелись и существенные недоработки. В частности, не было дано объяснения причин, обуславливающих чрезвычайно большую устойчивость тяжелых минералов по отношению к горизонтально направленной струе потока в долине. Не до конца был разработан вопрос о пространственных изменениях россыпей в период углубления и перераспределения

речной сети и т. п. Эти недоработки вызвали со стороны геологов ряд справедливых критических замечаний. В настоящей работе перечисленные недостатки устранены, что позволило, как считает автор, решить главную задачу геологии россыпей: определять общее количество полезных минералов в них в один прием разведочных работ.

Многолетняя практика отработки россыпей убеждает нас в том, что теоретические представления о природе ошибок, возникающих в период проходки разведочных выработок и подсчета запасов, не соответствуют действительности. Основанный на них порядок набора контуров сопровождается значительными расхождениями между данными подсчета и отработки месторождений, что приводит к путанице в организации добычных работ и значительным потерям полезных минералов в недрах. Поэтому решению данного вопроса посвящена отдельная глава.

В «Замечаниях» освещается ряд вопросов, не имеющих прямого отношения к рассмотренным основным проблемам, но представляющих известный познавательный интерес. Все теоретические положения рассматриваются на фактическом материале аллювиальных россыпей золота и касситерита Колымского бассейна, которые автор изучал на протяжении четверти века.

## ПОВЕДЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ УСТОЙЧИВЫХ МИНЕРАЛОВ В ДИНАМИЧЕСКОЙ ВОДНО-АЛЛЮВИАЛЬНОЙ СРЕДЕ

Для геологии россыпей, как и для обогащения, выяснение поведения тяжелых устойчивых минералов в динамической водно-аллювиальной среде является основополагающим. Эффективность разведки россыпей и степень извлечения минералов на промывочных устройствах полностью зависят от того, насколько правильно будут поняты все особенности пространственных изменений тяжелых минералов в сыпучей среде в период воздействия на нее водного потока. Эта задача до сих пор еще не решена. Вместо того, чтобы поставить строго научные эксперименты и на их основе сделать соответствующие выводы, исследователи россыпей почем-то идут по линии логического осмысливания ряда факторов, присущих как самим россыпям, так и сопутствующим им явлениям. В результате они неизменно приходят к мысли, что тяжелые минералы в период перебива рыхлых отложений подвергаются переносу по долинам. Суть представлений, которые приводят к такому выводу, состоит в следующем.

1. Поведение тяжелых минералов и вмещающей их сыпучей среды должно подчиняться одним законам физики. Поскольку плотности тяжелых минералов и аллювия различны, то речь может идти лишь об относительно меньшей скорости перемещения минералов, но не об отрицании этого процесса вообще.

2. В ряде случаев россыпи в долинах прослеживаются на километры, а то и десятки километров от рудных тел, за счет которых они образовались, что как будто явно указывает на разволакивание минералов по долинам.

3. В продольном направлении россыпей наблюдается сортированность минералов по крупности. В верхних их частях крупность минералов всегда больше, чем в нижних. Такое явление можно объяснить только тем, что мелкие зерна минералов перемещаются дальше, чем крупные.

4. Наблюдается довольно заметная разница в степени окатанности зерен минералов верхних и нижних частей россыпей. Этот факт также принято объяснять тем, что чем ниже по течению расположен металл, тем более длинный путь он прошел в россыпи и тем большее окатывание испытал на этом пути.

5. В целях уменьшения потерь золота промывочные устройства оснащают всевозможными приспособлениями для его улавливания.

ния, но снос золота все-таки имеет место и в довольно заметных количествах.

6. Очень часты случаи значительных концентраций минералов во всякого рода углублениях плотика, что объясняется попаданием их туда во время переноса по долине.

7. Встречаются россыпи, где продуктивный пласт разделен на несколько горизонтов. Подобное строение пласта можно объяснить лишь последовательным наложением слоев аллювия, обогащенных минералами при их переносе.

8. Скопления мелкого золота на плесах и косах водотоков в отдельных случаях достигают таких концентраций и размеров по площади, что возникают самостоятельные косовые россыпи, название которых уже включает понятие перемещаемости золота.

На первый взгляд в совокупности эти доводы как будто подтверждают наличие перемещаемости тяжелых минералов, но в действительности это совсем не так. В строении россыпей есть такие особенности, которые категорически опровергают это представление и убеждают, что минералы не подвергаются никакой транспортировке. Сущность этих особенностей состоит в том, что в процессе всевозможных размывов участки россыпей не испытывают никаких перемещений в направлении размывающих водотоков. В зависимости от характера углубления долины водотоком такие участки наряду с опусканием по вертикали смещаются наклонно в ту или иную сторону долины. Если бы минералы смещались горизонтально, то в зависимости от особенностей строения плотика и изменчивости режима водотоков размывавшиеся части россыпей неминуемо в большей или меньшей степени были бы в плане сдвинуты относительно тех их частей, которые остались не затронутыми.

Несмещаемость размываемых частей россыпей есть повсеместный факт и его игнорировать нельзя.

Представление о перемещаемости тяжелых минералов иногда бралось под сомнение (П. К. Яворовский, 1896 г., М. Н. Прозоров, 1944 г. и др.). Н. К. Котылевым и Н. А. Шило был описан конкретный случай, когда размывтая часть золотой россыпи опустилась по вертикали на 20 м, а в плане не изменилась, составив единое целое с оставшейся частью россыпи на террасе. Но опубликование этого единственного факта всеми было воспринято лишь как исключение из правила. Никто не задался вопросом: чем же вызвано такое поведение минералов?

В сороковые и пятидесятые годы автором было изучено множество частичных размывов золотых и касситеритовых россыпей и ни в одном из них не было обнаружено признаков перемещаемости минералов. Из этого факта автор сделал вывод, что минералы, будучи в механической смеси с аллювиальными отложениями, в период размывов не испытывают горизонтальных перемещений по долинам. Сущность их поведения в природе была из-

ложена в следующем виде: если долину мысленно пересечь плоскостью, перпендикулярной к оси ее простираения, то при активизации эрозионной деятельности водотоков тяжелые минералы, находящиеся в свободном состоянии, могут опускаться по вертикали или перемещаться наклонно в ту или иную сторону, но не выйдут из данной плоскости.

Это утверждение и ряд других вытекающих из него положений вызвало со стороны геологов-россыпников довольно резкую отрицательную реакцию. В печати появился ряд статей, где по-прежнему отстаивалось мнение о переносе тяжелых минералов, но ни в одной из них не было приведено бесспорных доказательств. Например, П. А. Петров (1958, стр. 47) писал: «Нам представляется, что в случае бурного режима (во время паводков) золотины могут перемещаться вместе с грунтовой массой». Б. Н. Ерофеев и М. И. Кобычев (1958, стр. 47) высказались так: «В действительности, в долине, за исключением ее самых верхних крутопадающих звеньев, резко преобладают процессы переноса и отложения, захватывающие, очевидно, и частицы свободного металла». И. С. Рожков (1959, стр. 46), задавая вопрос, перемещается ли золото водными потоками? пишет: «Чтобы ответить на этот вопрос, надо признать, что весь обломочный материал (включая и золото), находящийся под действием водного потока, подчиняется их динамическим законам». Разумеется, такая аргументация не является доказательством.

Но как ни велика была сила традиционности взглядов, обилие фактов, приведенных Н. Г. Бондаренко (1957), не могло не поколебать устоявшихся представлений. В последнее время среди геологов получили довольно широкое распространение теория так называемой малой, или слабой, подвижности тяжелых минералов (Хрипков, 1958; Горбунов, 1965; Карташов, 1966; Рыжов, 1968), а также теория Н. А. Шило (Шило и др., 1970) дифференцированной подвижности (чем больше плотность минерала, тем меньше его подвижность). Но и они в сущности ничем не отличаются от ранее господствовавшей теории.

Возникает вопрос: почему же тяжелые минералы, будучи в механической смеси с рыхлым материалом речных долин, при размыве последних могут перемещаться только по вертикали или наклонно в ту или иную сторону в поперечном направлении долины? В гидродинамике, которая рассматривает движение твердых тел в речном потоке, есть исчерпывающий ответ на этот вопрос. Остановимся на трех ее положениях.

1. Принято считать, что любой сыпучий материал, плотность которого больше плотности воды, при достижении соответствующих скоростей потока подвергается переносу. Но в природе очень часто создаются условия, когда сыпучий материал при любой скорости потока не подвергается переносу. Поэтому важно знать, при каких условиях перенос рыхлого материала возможен, а при каких нет.

Особенности форм строения коренного дна долин и заполняющего их рыхлого материала столь разнообразны, что найти между ними какую-либо математическую зависимость, позволяющую понять различие этих условий, невозможно. Но если формы их строения упростить, т. е. привести к геометрически учитываемым видам, то тогда задача может быть решена.

Предположим, что верхний горизонт коренного дна (рис. 1) сложен из отдельностей, имеющих форму карандаша. Торцы отдельностей закруглены одинаковым радиусом кривизны.

Тогда поверхность дна будет представлять собой как бы слой накатанных шаров одинакового диаметра. Поместим на эту поверхность шар *A* (см. рис. 1) произвольного размера. Поскольку шар будет находиться в одном из углублений, то его тело будет делиться линией горизонта выступов (на рис. 1 *N—N*) дна на две неодинаковые части.

Аналитически установлено и опытом проверено (Лященко, 1940; Мацуев, 1958), что горизонтальное действие струи потока в этом случае распространяется не на всю площадь поперечного сечения шара, а лишь на ту ее часть, которая находится выше линии горизонта. Если отношение площади верхней части этого шара ко всей его площади обозначить через *S*, а отношение диаметра выступов дна к диаметру шара *A* через *n*, то степень воздействия потока на шар будет выражаться функциональной зависимостью

$$S = \frac{1}{2} (1 - n + \sqrt{1 + 2n}).$$

Анализ формулы (вывод которой из-за громоздкости не приводится) показывает, что величина *S* будет положительной (т. е. сила потока вообще сможет воздействовать на поверхность шара) лишь в том случае, если *n* больше 4. Если же *n* = 4 или меньше, т. е. когда диаметр шара *A* в 4 раза меньше диаметра закруглений выступов дна, то *S* = 0. Это означает, «что зерна, размер которых в 4 раза меньше размера зерен постели, будут находиться вне действия горизонтальной струи потока..., передвигаться не будут и останутся между зернами постели» (Мацуев, 1958, стр. 81).

Если в какое-либо из углублений поместить шар диаметром в 4 раза меньше, чем диаметр закруглений выступов (на рис. 1 шар *B*), то последний будет находиться ниже линии горизонта выступов. Но шар *B* не полностью займет углубление между за-

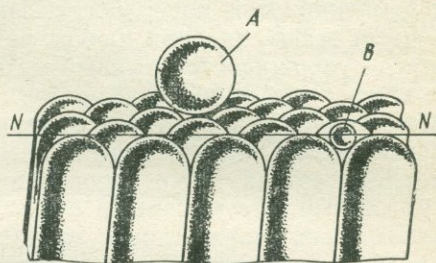


Рис. 1. Геометрическая схема условий перемещения одиночного тела на шероховатой поверхности под воздействием водного потока

круглениями выступов. Вокруг него останется некоторое пространство, где может поместиться несколько шаров, но уже в 4 раза меньших размеров, чем шар  $B$ . В свою очередь между ними поместятся еще несколько шаров в 4 раза меньших размеров, чем эти шары, и так вплоть до частиц пылеобразных размеров.

Таким образом, формула показывает, что при воздействии водного потока шероховатая поверхность способна удерживать на себе объем сыпучего материала различных размеров, равный объему углублений этой поверхности. Примером может служить обыкновенный шлюз, где при любом режиме потока между трафаретами всегда удерживается рыхлый материал в объеме, не превышающем объема углублений трафаретов. Исходя из этого общее условие перемещаемости сыпучего материала можно сформулировать так: перемещение любого сыпучего материала под действием энергии водного потока может происходить лишь в том случае, если его суммарный объем больше объема углублений коренного дна. Перемещаться может лишь та часть сыпучего материала, которая находится выше выступов коренного дна (т. е. избыточная часть). Если же объем сыпучего материала будет меньше объема углублений плотика, то перемещаться он не будет.

2. Минимальные скорости течения, при которых в жидкой среде начинается перемещение твердых тел одинаковых размеров, но различных плотностей, относятся между собой как их плотности, уменьшенные на единицу (на плотность воды). Алгебраическое выражение этой зависимости имеет вид

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\gamma_1 - 1}{\gamma_2 - 1},$$

где  $V_1, V_2$  — минимальные скорости, при которых начинается перемещение твердых тел;  $\gamma_1, \gamma_2$  — плотности твердых тел.

На основе данной зависимости можно определять минимальные скорости смещения твердых тел любых плотностей и размеров по результатам измерения минимальных скоростей смещения частиц какого-либо одного вида сыпучего материала, например кварца. Опытным путем установлено (Имшенецкий, 1960), что частицы кварца (плотность 2,65) размером 4 мм, покоящиеся на сыпучем материале из того же кварца, начинают перемещаться при скорости потока 56 см/с. Частицы лимонита таких же размеров (плотность 3), залегающие на сыпучем материале из лимонита же, начинают перемещаться при скорости 68 см/с (вычисленная скорость равна 67 см/с). Соответственно частицы касситерита (плотность 7) начнут перемещаться при скорости 204 см/с, частицы свинца (плотность 11,4) — 407 см/с, а частицы золота (плотность 18,2) — 582 см/с и т. д.

Следует подчеркнуть, что эта зависимость справедлива лишь в том случае, если соблюдена полная аналогия не только размеров частиц, но и условий их залегания на сыпучем материале (т. е. частицы касситерита залегают на сыпучем материале из кассите-

рита, частицы свинца — на сыпучем материале из свинца и т. д.).

3. Как известно, движение воды в русле связано с выделением энергии, которую можно определить по формуле

$$A = PS,$$

где  $A$  — количество выделяемой энергии, кгм;  $P$  — масса воды, кг,  $S$  — высота падения, м.

Эта энергия согласно закону сохранения энергии не может бесследно исчезнуть. Она переходит в какие-либо другие виды и обуславливает различные качественные изменения как в самой воде, так и в окружающей ее среде. В русле долины за счет энергии потока известны следующие четыре вида качественных изменений:

- 1) поддержание в воде значительно большей температуры, чем в окружающей среде;
- 2) перемещение некоторого количества отложений по дну русла;
- 3) возникновение звукового эффекта;
- 4) явление кавитации.

Если подсчитать количество энергии, затрачиваемой для поддержания названных четырех качественных состояний в воде и окружающей среде при падении  $1 \text{ м}^3$  воды с высоты 1 м, то с какими бы допущениями этот подсчет не проводить, для поддержания данных состояний необходимо не 10 000, а всего лишь 7000—8000 кгм. Остальные 2000—3000 кгм энергии куда-то исчезают. Это обстоятельство привело автора в 1959 г. к мысли о том, что в водном потоке, кроме названных четырех качественных изменений, происходят еще какие-то пока неизвестные изменения. В результате простого опыта в производственных условиях было установлено ранее неизвестное явление в природе — зоны вибрации в прирусловой части рыхлых отложений (рис. 2). Опыт заключался в следующем. В один из межениных периодов, когда в горных ручьях очень резко сокращается расход воды, в интервале 20—30 см было расположено в крест простираения русла несколько свинцовых пуль. В паводок эти пули, подвергаясь затоплению, вместо того, чтобы сместиться по руслу, испытали лишь погружение в отложения на различную глубину. Причем погрузились не только те из них, которые подвергались затоплению, но и находившиеся на поверхности, в непосредственной близости от руслового потока. Подобное погружение пуль может происходить лишь в том случае, если сыпучая среда, на которой они покоятся, будет приведена какой-либо силой в возбужденное состояние (состояние вибрации).

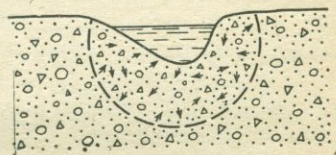


Рис. 2. Зона вибрации в рыхлых отложениях, вызываемая действием водного потока

Убедиться в том, что вибрация существует, можно, приложив руку к отложениям долины в непосредственной близости от бурного водотока. Это явление, разумеется, имеет количественные характеристики, но они еще не определены. В частности, неизвестны зависимости между скоростью водотока и количеством вибрирующей массы рыхлого материала в русле, между количеством воды и напряженностью вибрации (степенью соударения частиц) в отложениях, распространение ее на глубину и т. п. Со временем эти

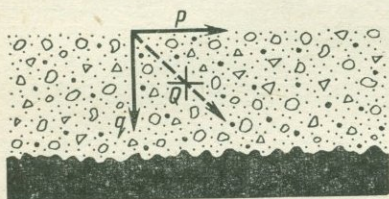


Рис. 3. Горизонтально направленная сила потока ( $P$ ) не смещает отдельное тело, находящееся в механической смеси с сыпучим материалом меньшей плотности

характеристики будут определены и помогут понять ряд других особенностей взаимодействия жидких и твердых тел.

Явлением вибрации можно объяснить то, что при размыве рыхлых отложений тяжелые минералы не подвергаются переносу по долине, а занимают в ней нижнее положение, образуя продуктивный пласт, а также то, что вопреки закону равнопадаемости, на шлюзах достигается очень высокий процент их извлечения.

Как известно, согласно этому закону со шлюзов должно сноситься все золото размером меньше 100 мк. В действительности же шлюз улавливает даже частицы размером 73 мк (Невский, 1947).

Ознакомившись с тремя положениями гидродинамики, зададимся некоторыми определенными условиями и попытаемся понять сущность поведения одиночного тяжелого тела, находящегося в сыпучей среде в период ее размыва водным потоком. Предположим, что на поверхности размываемого сыпучего материала с плотностью 2,65 (аллювий) покоится одиночное тяжелое тело размером 4 мм с плотностью 7 (кусок касситерита). Сыпучий материал в свою очередь залегает на шероховатой поверхности, углубления которой по объему превосходят объем данного тела (рис. 3).

Если скорость потока достигает 56 см/с, то согласно экспериментальным данным (Имшенецкий, 1960) все верхние кусочки аллювия, начиная с пылеобразных и кончая частицами размером 4 мм, придут в движение. Одновременно некоторая часть нижележащего рыхлого материала будет приведена потоком в состояние вибрации. Чтобы сместить кусок касситерита, этой скорости, разумеется, далеко не достаточно (для этого необходима скорость 204 см/с). Но поскольку под куском касситерита сыпучий материал будет приведен в состояние вибрации, то касситерит погрузится в последний на некоторую глубину. Если скорость увеличить в 2 раза (112 см/с), то согласно закону Эри объем перемещаемых частиц рыхлого материала увеличивается пропорционально шестой степени, т. е. в 64 раза, что будет соответствовать

примерно величине куриного яйца. Но и этой скорости для смещения куска касситерита будет недостаточно. Причем, поскольку с увеличением скорости потока увеличится и объем вибрирующей массы отложений, то этот кусок опустится в последние еще ниже.

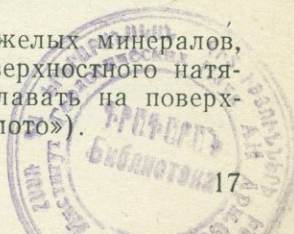
При удвоении скорости потока (224 см/с) будут перемещаться валуны диаметром 15—20 см. Этой скорости вполне достаточно для того, чтобы сместить кусок касситерита. Но его смещение произойдет лишь в том случае, если он залегаёт на сыпучем материале из того же касситерита или на материале еще большей плотности. В наших же условиях он только опустится на еще большую глубину и тем самым выйдет из сферы воздействия горизонтальной струи потока. При строго вертикальном врезании потока в сыпучую среду кусок касситерита будет опускаться также строго вертикально, а если размыв к тому же будет сопровождаться еще и боковым смещением потока в какую-либо сторону, то он по образовавшемуся склону сместится вслед за отступающим потоком (боковое смещение). Когда же поток, углубляясь в сыпучий материал, достигнет выступов шероховатой постели, этот кусок опустится в одно из ее углублений. Поскольку объем куска касситерита меньше объема любого из этих углублений, то он уже не может быть захвачен и смещен потоком.

217  
Таким образом, при размыве сыпучей среды с залегающим на ней куском минерала относительно большой плотности происходит лишь вертикальное или наклонное его перемещение в поперечном направлении. Горизонтального перемещения происходить не будет. Справедливость данного вывода подтверждается и таким опытом. Если в обыкновенный шлюз насыпать слой аллювия в 30—40 см, и на его поверхность положить кусочек железа, бронзы и т. п., то после смыва аллювия они остаются на трафаретах в тех же сечениях, что и были раньше.

Следует заметить, что перед кем бы автору не приходилось ставить данную задачу, она обыкновенно всеми решалась так: поскольку на данное тело одновременно действует горизонтально направленная сила ( $P$ ) и сила собственной массы ( $q$ ), то за счет сложения этих сил возникает наклонная равнодействующая сила ( $Q$ ), которая и приведет тело к некоторому горизонтальному смещению. Такое решение задачи является ошибочным потому, что не учитывается качественное изменение, производимое потоком в сыпучей среде.

В условиях долины врезание водотока происходит путем расшатывания и удаления отдельных кусков коренных пород. В этом случае зерна тяжелых минералов после образования пустот сразу опускаются в них и тем самым остаются в одних и тех же сечениях долин.

В природе так ведут себя частицы всех тяжелых минералов, масса которых в состоянии нарушить силы поверхностного натяжения воды. В противном случае они будут плавать на поверхности последней (так называемое «плавающее золото»).



Для отдельных тяжелых минералов иногда могут создаваться условия для частичной их перемещаемости по простиранию долин. Например, если их концентрации достигают таких значений, что они с избытком заполняют углубления в плотике. В этих случаях в фазу глубинной эрозии зерна тяжелых минералов, вытеснив из углублений плотика аллювий как материал меньшей плотности, превратятся в однородную по плотности сыпучую среду, которая будет уже удовлетворять условиям перемещаемости сыпучего материала. При достижении необходимых скоростей водного потока избыточная часть его начнет перемещаться по долине. Автору довелось наблюдать такие концентрации в отдельных местах касситеритовой россыпи (р. Золотистая). Что же касается золота, так его концентрации в природе (даже в уникальных россыпях) столь малы, что составляют тысячные доли объемов в углублениях плотика. Поэтому оно не может перемещаться по простиранию долин. Плотиков, плохо улавливающих золото, в природе не существует.

Несколько слов об алмазе. Среди тяжелых минералов алмаз по плотности занимает последнее место. Исследованиями по обогащению россыпью (Мацуев, 1958 и др.) установлено, что разделение, т. е. осаждение тяжелых минералов в динамической водно-аллювиальной среде происходит в том случае, если отношение их плотностей к плотности аллювия превышает 1,26. Следовательно, алмаз (плотность 3,5, отношение его плотности к плотности аллювия 1,32) не должен перемещаться водным потоком и строение его россыпей должно быть таким же, как и россыпей более тяжелых минералов. Но, как известно (Трофимов, 1967), алмаз обладает свойством несмачиваемости, что, возможно, сказывается на его поведении в россыпях. К сожалению, автору не довелось исследовать алмазные россыпи и сказать что-либо определенное по этому поводу он не может.

## ОБРАЗОВАНИЕ РОССЫПЕЙ

Судя по высотам золотоносных террас, колымские россыпи золота образовались сотни тысяч лет назад. Образование их несомненно происходит и в настоящее время, но этот процесс протекает столь медленно, что одной или нескольких человеческих жизней недостаточно для того, чтобы можно было проследить его визуально. Поэтому о механизме образования россыпей можно говорить лишь предположительно. Учитывая определенные факторы, можно построить гипотезу образования россыпи и затем косвенно ее обосновать.

В геологии россыпей существует несколько таких гипотез. В. А. Обручев (1963), в частности, считает, что ленские россыпи образовались в результате растворения в слабокислой водной среде кубиков серного колчедана, содержащего золото, с последующим переходом последнего в долине в твердый осадок при встрече

раствора с восстановителем. А. В. Хрипков (1958) рассматривает россыпь как проекцию рудного тела на слабонаклонную плоскость. Ю. А. Билибин (1959, стр. 211), будучи уверенным в том, что золото подвергается переносу струей потока, существо образования россыпей изложил так: «Первые порции металла освобождаются из коренного месторождения, как только оно начинает вскрываться процессом деструкции... С наступлением эрозионного цикла скопившийся материал перемывается, давая начало первой аллювиальной россыпи... Аллювиальную россыпь металла можно представить как состоящую из отдельных порций металла, поступивших в россыпь в различное время». Эта гипотеза Ю. А. Билибина считалась наиболее достоверной. В отличие от других гипотез она не только логично объясняла все особенности в строении россыпей, но и давала некоторое представление о характере распределения в них минералов.

Когда же было установлено, что минералы при перемыве речных отложений могут только опускаться по вертикали или смещаться наклонно в ту или иную сторону, то эти гипотезы отпали сами собой. Встал вопрос о построении новой гипотезы образования россыпей, которая, с одной стороны, не противоречила бы факту неперемещаемости минералов, а с другой — объясняла все особенности их строения. Заслуживает внимания мысль, приведенная в работе Ю. А. Билибина (1956, стр. 110): «Иногда высказывается мнение, что значительная часть металла освобождается из коренной породы и поступает в россыпь в процессе измельчения гальки при ее переносе. Хотя это явление, несомненно, имеет место, но роль его в пополнении металлом ничтожна. При постепенном истирании гальки и заключенный в ней металл испытывает столь же медленное истирание, давая лишь мельчайшие частицы косового золота». Не вдаваясь в существо вопроса о степени истираемости металлов и силикатов (он будет рассмотрен ниже), заметим, что эта мысль (к сожалению, мы не знаем ее автора) в принципе верна и Ю. А. Билибиным была отвергнута напрасно. Она позволяет не только объяснить различные особенности строения россыпей, но и дает возможность установить в них закономерности распределения минералов. Поэтому данная мысль и была положена автором в основу гипотезы образования россыпей (Бондаренко, 1957).

Рассмотрим существо этой гипотезы более подробно. Предположим, что на склоне, водоразделе или в ложе долины залегают рудное тело какого-либо тяжелого устойчивого минерала (рис. 4). Рудное тело в процессе деструкции, разрушаясь, поставляет в долину не минерал в свободном состоянии, а только обломки пород, содержащий этот минерал. Отдельно взятый кусок породы, заключающий в себе ничтожно малое по массе количество зерен минерала, попав в ложе долины (см. рис. 4, слева), начнет перемещаться водотоком. Его движение в виде обломка не может быть бесконечным. В долине на него воздействуют различные

агенты выветривания, вследствие чего он, постепенно разрушаясь, начнет терять зерна минерала и где-то (см. рис. 4, справа) превратится в конечный продукт выветривания — песок и глину. Минерал в данном отрезке будет в плане представлять собой след продвижения этого куска породы. Следующий такой же кусок породы, пройдя по долине, оставит еще один след и т. д. При массовом длительном движении и дроблении кусков породы высвобождающиеся зерна минерала, постепенно суммируясь, и образуют аллювиальную россыпь.

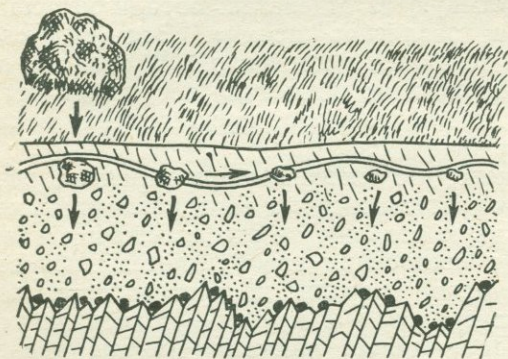


Рис. 4. Графическая схема образования аллювиальной россыпи

Поскольку в водном потоке донные отложения всегда находятся в состоянии вибрации, то освобождающиеся зерна минерала сразу же начнут погружаться в нижние горизонты. Если мощность потока велика и донные отложения приведены в состояние сильной вибрации, то зерна минерала, достигая как возвышенных, так и пониженных мест плотика, образуют пластовую россыпь со всякого рода «кочками», «провалами», «карманами» и т. п. Если же поток недостаточно мощный и донные отложения приведены в состояние вибрации лишь частично, то зерна минерала, не достигая коренных пород, образуют висячий пласт. При уменьшении мощности потока в период формирования россыпи пласт может разделиться на два или даже несколько горизонтов.

Таким образом, в генетическом смысле аллювиальную россыпь можно рассматривать как сумму следов минерала, возникающих вследствие движения и дробления жильной породы. Она отражает собой в долине отрезок, где жильная порода находится в агрегатном состоянии, локализуется ниже коренных выходов жильной породы и может начинаться только от рудного тела. Когда рудное тело сконцентрировано в едином массиве, взаимосвязь между оруденением и россыпью очевидна. Если же рудное тело рассредоточено в виде мелких проявлений на значительной площади, то создается впечатление оторванности россыпи от рудных тел. Для возникновения россыпи необходимо всего два условия: наличие рудного тела и постоянно или периодически действующего водного потока.

В природе имеется много факторов, которые в совокупности могут служить косвенным доказательством того, что аллювиальные россыпи образуются именно так. Например, если бы высвобождение тяжелых минералов происходило на местах выходов рудных тел на дневную поверхность, то каждой аллювиальной россыпи предшествовала бы делювиальная россыпь, а последней — элювиальная. В действительности в Колымском бассейне автором встречена лишь одна аллювиальная россыпь, которая переходит в очень слабую делювиальную (ручей Безымянный). Элювиальные россыпи в этом бассейне вообще неизвестны. В то же время в ложах долин можно встретить куски жильной породы, в которых включения золота столь малы, что его влияние на плотность породы практически равно нулю. Есть куски, где количество золота больше и оно уже сказывается на их плотности. Наконец, есть самородки золота, где, наоборот, жильная порода в виде припая находится в ничтожно малых количествах. Все это явно указывает на то, что золото переходит в свободное состояние непосредственно в ложах долин.

Известно, что вода при переходе из жидкого состояния в лед увеличивается в объеме на 9%. Причем, если она охлаждается равномерно в открытом сосуде, то увеличение ее объема не сопровождается давлением на стенки сосуда. А если охлаждение происходит неравномерно, то из-за образующейся корки сосуд превращается из открытого в замкнутый. По мере увеличения толщины корки давление на стенки сосуда постепенно увеличивается и может достигнуть 10 т/см<sup>2</sup>. В естественных условиях в пустотах, трещинах и углублениях вода переходит в лед именно путем неравномерного охлаждения. Это приводит к интенсивному дроблению жильной породы, а следовательно, и к высвобождению из нее минералов. На Колыме вследствие дневных оттепелей и ночных заморозков весной и осенью температура верхних частей рыхлого материала в течение года переходит через нулевой градиент примерно 80—90 раз. Наиболее интенсивно подвержены этому виду выветривания породы, находящиеся в смоченном состоянии, т. е. в русловой части долины.

На склонах и водоразделах из-за весьма медленного удаления продуктов выветривания образуется защитный слой из песка и глины, который предохраняет нижележащие горизонты от разрушения. В ложах же долин водные потоки постоянно удаляют мелкие фракции и глыбовый материал поддерживается в обнаженном состоянии. По этой причине горные породы в долинах разрушаются более интенсивно, чем на склонах и водоразделах.

Уже отмечалось, что Ю. А. Билибин, хотя и не полностью, но все-таки отрицал возможность образования золотых россыпей в самой долине за счет переноса и дробления гальки. Он исходил из того, что в период истирания гальки в равной степени истирается и заключенное в ней золото, давая мельчайшие частицы косового золота. Следует заметить, что степень истираемости золо-

та и жильной породы никем экспериментально не проверялась, поэтому данное утверждение Ю. А. Билибина следует отнести к числу предположительных.

Автором в производственных условиях проводился опыт на истираемость различных материалов (кварц, гранит, глинистые сланцы, песчаник, свинец, олово, золото, бронза) путем помещения их в амальгамационную бочку, который показал, что истираемость металлов в сотни раз меньше истираемости силикатов. Даже кусочки свинца за несколько часов вращения в бочке вместе с частицами силикатов изменяют лишь внешние формы, масса же их остается неизменной. Конечно, условия истираемости твердых тел в бочке далеки от условий истирания их в долине. Однако опыт убедительно показывает, что степень истираемости металлов и силикатов совсем не такая, как это принято считать. Даже если бы она была одинаковой, то и тогда бы минералы не полностью переходили в пылеобразное состояние. Как показано выше, кроме истирания порода подвергается еще и дроблению под влиянием выветривания. В южных широтах, где влияние морозного выветривания значительно меньше или отсутствует, повышается роль химического выветривания, которое наиболее эффективно проявляется в условиях максимального обводнения рыхлого материала, т. е. в долине. Изменение климатических условий может изменять лишь степень проявления того или иного вида выветривания, но не сущность формирования аллювиальных россыпей.

На основании всего изложенного можно сделать вывод, что переход тяжелых минералов из жильной породы в свободное состояние происходит не на месте выходов рудных тел на дневную поверхность, а непосредственно в ложах долин.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВ В РОССЫПЯХ

Чтобы грамотно вести разведку и отработку россыпей, необходимо знать, как в них распределяются минералы. До Ю. А. Билибина этот вопрос никем и не ставился. По Ю. А. Билибину (1956, стр. 426), решающую роль в накоплении золота играет строение подстилающих коренных пород. Плотики он делит на благоприятные и неблагоприятные для улавливания золота: «...распределение металла в россыпи, форма и размеры обогащенных участков полностью определяются распределением, формой и размерами углублений в поверхности плотика». Ведение разведки на основе такого представления как будто давало желаемые результаты, но в конечном счете неизменно приводило к перерасходу средств на проходку ненужных разведочных выработок и к потерям минералов в недрах.

Наша гипотеза образования россыпей отличается от других гипотез тем, что позволяет установить две закономерности распределения минералов в россыпях, которые дают возможность поставить разведку на инженерную основу и тем самым определять

баланс минерала в них в один прием разведочных работ. Суть этих закономерностей в следующем.

1. *Закономерность количественного распределения минералов.* Известно, что количество транспортируемого водоотком рыхлого материала в долине зависит от расхода воды. Если за определенный промежуток времени в разных сечениях какого-то отрезка ( $A-B$ ) долины проходят одинаковые количества воды, то там же будут проноситься и одинаковые количества рыхлого материала.

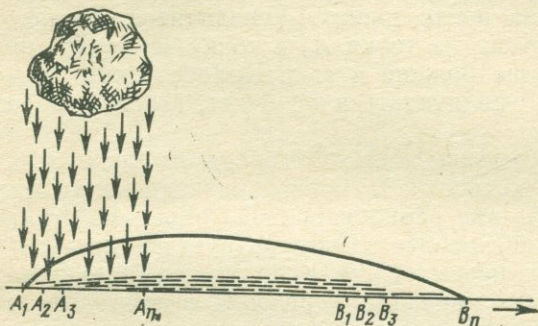


Рис. 5. Кривая количественного распределения тяжелых минералов в россыпи, питающейся из одного рудного тела

В противном случае не будет соблюдаться равновесие уклона долины. Исходя из этого скорость перемещения жильной породы во всех сечениях отрезка  $A-B$  тоже будет постоянной. Так как климатические условия идентичны для целых географических районов, степень воздействия агентов выветривания на жильную породу во всех сечениях долины также будет одинаковой. Поэтому вероятность перехода минерала из жильной породы в свободное состояние в отрезке  $A-B$  во всех сечениях будет одной и той же.

Если бы все куски жильной породы имели одинаковые размеры и крепость и попадали только в точку  $A$ , то продольный график количественного распределения минерала в россыпи в отрезке  $A-B$  представлял бы собой горизонтальную прямую. Но в природе таких условий не бывает. Формы коренных рудных тел относительно направления долин самые разнообразные. И куски жильной породы при разрушении этих тел попадают не в одну точку долины, а рассредоточиваются в ней на некотором расстоянии. Кроме того, куски породы не одинаковы по размерам и твердости. Все приведенные факторы вместе взятые не могут не влиять на характер распределения минералов в россыпи.

Рассмотрим конкретный пример. Предположим, что на водоразделе или склоне долины залегает рудное тело неопределенной формы (рис. 5). Проекция его на горизонтальную линию составляет отрезок  $A_1-A_n$ . Кусок жильной породы предельной величины

для данного водного потока (если кусок очень большой, то его транспортировка невозможна до тех пор, пока он не распадется на более мелкие куски), отделившийся от левой части рудного тела, попадает в долине в точку  $A_1$ . Эта точка будет началом россыпи. В процессе движения и дробления из данного куска постепенно высвободятся все зерна минерала и в точке  $B_1$  кусок породы превратится в конечный продукт выветривания — песок и глину. Такой же по величине кусок породы, попавший в долину в точке  $A_2$ , превратится в песок и глину в точке  $B_2$ . Количество зерен минерала после точки  $A_2$  увеличится. После перемещения следующего куска из точки  $A_3$  в точку  $B_3$  зерен минерала в россыпи станет еще больше и т. д. Правее точки  $A_n$  количество зерен минерала увеличиваться не будет, а точка  $B_n$  станет окончанием россыпи.

Если бы все куски жильной породы были предельных размеров и одинаковой крепости, то кривая распределения минерала в россыпи имела бы вид равнобедренной трапеции. Но так как обычно куски жильной породы имеют разную величину и крепость, то расстояния их перемещения в долине неодинаковы. Кроме того, некоторая часть минерала переходит в свободное состояние еще на склоне, а затем, попадая в долину, обогащает головную часть россыпи.

Таким образом, в россыпи, питающейся из одного рудного тела, количество минерала в пределах этого тела постепенно возрастает, ниже его достигает максимума, в этом состоянии выдерживается на некотором расстоянии (участок плато) и далее, снижаясь, сходит на нет. В зависимости от количества минерала в рудном теле и крепости жильной породы россыпь может быть богаче или беднее, короче или длиннее. В зависимости от характера расположения рудного тела относительно элементов геоморфологии долины (на склоне, водоразделе или в долине) россыпь может находиться в прибортовой части долины в виде узкой полосы или занимать всю пойму. Россыпь может быть перекрыта в той или иной степени рыхлыми отложениями, но в ней не должно быть ни разрывов, ни пережимов. В дальнейшем россыпь, питающуюся из одного рудного тела, мы будем называть простой россыпью, а описанную закономерность — закономерностью количественного распределения минералов аллювиальных россыпей.

2. *Закономерность распределения тяжелых минералов по гранулометрическому составу.* Длины путей, проходимых в долине кусками жильной породы, одинаковыми по размерам и количеству заключенного в них минерала, не всегда равны. Они зависят от крупности заключенного в них минерала. Для того чтобы понять, как гранулометрический состав минералов сказывается на длинах путей, проходимых жильной породой в долинах в агрегатном состоянии, проследим мысленно за движением двух кусков породы с одинаковым количеством заключенного в них минерала, но с различным гранулометрическим составом.

Предположим, что в одном из кусков породы минерал сконцентрирован в центре в виде самородка, а в другом равномерно распределен в виде мелких зерен. Причем в обоих кусках количество минерала одинаково. В первом случае при раскалывании куска на две части плотность одного из его обломков резко увеличится, вследствие чего он сразу же погрузится в нижние горизонты отложений и на этом его перемещение закончится. Дальнейшее дробление обломка будет происходить уже на одном месте. Во втором случае при раскалывании куска породы на две части ни в одном из обломков изменения плотности не произойдет и они по-прежнему будут перемещаться по долине. Следовательно, обломок жильной породы с мелкими зернами минерала пройдет в долине больший путь, чем обломок с самородком.



Рис. 6. Кривая гранулометрического распределения тяжелых минералов в россыпи, питающейся из одного рудного тела

На скорость перехода минералов в свободное состояние влияют и силовые напряжения, возникающие в кусках жильной породы вследствие различия коэффициентов линейных расширений у минералов и силикатов. Величина этих напряжений в период температурных колебаний находится в прямой зависимости от размеров площади контакта минерала с вмещающей породой. При концентрации минерала в одном куске резко увеличивается площадь спая между минералом и породой, а вместе с тем увеличивается и внутреннее напряжение между ними, что приводит к скалыванию породы. В результате при массовом движении жильной породы в долине в головной части россыпи в свободное состояние переходит минерал всех фракций начиная с пылеобразных частиц и кончая самородками.

По мере продвижения породы вниз количество крупных фракций постепенно уменьшается и в конце в россыпи минерал представлен пылеобразной фракцией.

Если бы крупность минерала в рудном теле убывала равномерно, то продольный график гранулометрического распределения его в россыпи выразился бы наклонной прямой. Но обычно соотношения между различными фракциями минерала в рудных телах неравномерны, поэтому этот график представляет собой ниспадающую уступами ломаную линию (рис. 6). Эта линия может ниспадать положе или круче, но в ней не должно быть возрастающих участков, так как крупность минерала уменьшается вниз по простиранью долины. В дальнейшем описанную закономерность распределения минералов будем называть закономерностью гранулометрического распределения минералов аллювиальных россыпей.

Первая из этих закономерностей позволяет устанавливать, в каких местах и в каких количествах разведкой недовыявлен минерал. Вторая закономерность имеет вспомогательное значение по отношению к первой. Она позволяет определять, в каком случае обрыв россыпи является естественным ее окончанием, а в каком — ее потерей.

Убывание крупной фракции минерала вниз по россыпи в принципе было известно давно, но объяснялось тем, что его зерна разной величины разволакиваются с неодинаковой скоростью. Что же касается того, что окончание россыпи всегда характеризуется пылеобразной фракцией минерала и что это является поисковым признаком, ранее известно не было.

Первоначально, когда были сформулированы описанные закономерности, предполагалось, что они присущи лишь простым россыпям, образующимся в отрезке долины, которые не принимают в себя никаких боковых притоков, а сама долина находится в состоянии фазы покоя. Но дальнейшее изучение россыпей показало, что ни резкое увеличение расхода воды в долине, ни вертикальные колебания земной коры не изменяют сути этих закономерностей. При резком увеличении расхода воды, например при наличии бокового притока или выходе россыпи в главную долину, в равной степени увеличивается и количество рыхлого материала и сохраняется постоянной скорость его перемещения. Интенсивность перехода минерала в свободное состояние зависит только от активности агентов выветривания, а она одинакова для целых географических районов. Вертикальные колебания земной коры тоже не изменяют существа описанных закономерностей.

Простые россыпи встречаются в природе довольно редко. В подавляющем большинстве россыпи возникают за счет деструкции нескольких обособленных рудных тел или значительных по площадям зон минерализации. В результате образуется разветвленная сеть россыпей, и в них распределение минералов уже усложняется. Поэтому рассмотрим строение россыпи, которая питается из нескольких рудных тел и залегает в одной слабонаклонной плоскости.

Предположим, что речная сеть, в бассейне которой располагаются рудные тела, находится в состоянии покоя (рис. 7). Вследствие деструкции рудных тел в долинах *А* и *Б* возникли две простые россыпи. Поскольку мощности рудных тел и физические свойства жильной породы различны, то параметры образовавшихся россыпей будут не одинаковы, но распределение минерала в них подчиняется закономерностям простой россыпи. После сочленения данных россыпей в отрезке долины *В* возникает уже общая их россыпь. Параметры этой россыпи будут отличаться от параметров слагающих ее россыпей, но распределение минерала по простиранию в ней опять-таки будет подчиняться закономерностям простой россыпи. После сочленения данной россыпи с простой россыпью долины *Г* в отрезке долины *Д* снова возникает общая

россыпь с таким же характером распределения минерала, как и в слагающих ее россыпях и т. д. Если эту систему россыпей расчленить на отдельные отрезки, ограниченные точками сочленения россыпей, и по каждому из них построить продольные графики количественного и гранулометрического распределения минерала, то они будут представлять собой не что иное, как односторонне или двусторонне усеченные графики простой россыпи. Таким обра-

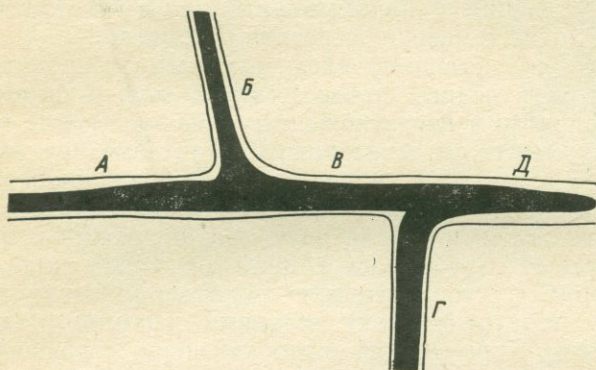


Рис. 7. Строение составной россыпи, залегающей на одном геоморфологическом уровне речной сети

зом, составные россыпи, залегающие на одном и том же геоморфологическом уровне гидросети, есть линейные комбинации простых россыпей. В дальнейшем такие системы россыпей мы будем называть составными, или сложными, россыпями.

Впервые описанные закономерности распределения минералов в россыпях были опубликованы в 1957 г. (Бондаренко, 1957) и вызвали среди геологов довольно резкие возражения. Однако в дальнейшем после проверки на многих россыпях они полностью подтвердились и сыграли весьма существенную роль в деле пополнения запасов по золоту на ряде приисков, подлежащих закрытию. Они нашли подтверждение также в работах многих геологов (Хусаинов, 1960; Ли, 1965; Горбунов, 1965; Шанцер, 1965; Карташов, 1966; Синюгина, Лапин, 1967; Рыжов, 1968; Шило и др., 1970 и др.).

Теперь при разведке аллювиальных россыпей составляют продольные графики количественного распределения минерала в россыпи и по ним судят о достоверности разведочных работ.

### ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РОССЫПЕЙ И КРИТЕРИИ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ИХ РАЗВЕДАННОСТИ

Как уже говорилось, форму, изображенную на рис. 7, россыпи могут иметь в том случае, если с момента возникновения они не подвергались эрозии. Но все районы земного шара, где локализу-

ются аллювиальные россыпи, пережили уже по несколько эрозионных циклов, из-за чего россыпи претерпели значительные пространственные изменения. Например, в Колымском бассейне россыпей, залегающих только на одном геоморфологическом уровне, практически нет. Россыпи залегают на разных уровнях и отличаются как по форме, так и по концентрации золота. Формы проявления эрозионной деятельности речной сети очень разнообразны и без систематизации ее нельзя понять, как в каждом конкретном случае происходит изменение строения россыпей.

По какому же принципу следует систематизировать эрозионную деятельность водных потоков, чтобы можно было найти необходимые аналоги в переотложенных россыпях? Уже говорилось, что аллювий и тяжелые минералы, будучи в механической смеси, при размывах ведут себя неодинаково. Аллювий подвергается переносу по долине, а минералы лишь опускаются по вертикали или смещаются наклонно в ту или иную сторону долины. Это обстоятельство и может служить основанием для такой систематизации. Сразу оговоримся, что описанные ниже четыре вида эрозионной деятельности водотоков носят условный характер и приводятся лишь для того, чтобы можно было понять сущность пространственных изменений в россыпях.

*Первый вид эрозионной деятельности водотоков.* Предположим, что в долине в одной плоскости залегают выдержанная пластовая россыпь, которая пересекается водотоком. При активизации эрозионной деятельности водоток, врезаюсь в коренные породы, смывает аллювий со своего места, а тяжелые минералы по мере углубления водотока в коренные породы останутся на прежнем месте. При вертикальном врезании русла размываемая часть россыпи будет спускаться только по вертикали и в целом ее очертания сохранятся. Но врезание русла, как правило, сопровождается еще и одновременным его смещением в какую-либо сторону. В этом случае размываемая часть россыпи наряду с опусканием будет еще и смещаться в сторону за отступающим водотоком. В результате такого размыва одна часть россыпи останется на террасе, а другая наклонно опустится в пойму долины (рис. 8). При этом некоторая часть минералов зависнет на склоне между этими частями, рассредоточившись по всей толще рыхлых отложений. Среднее содержание минерала на горную массу там будет примерно таким же, как и в пластовых участках. Но поскольку принято считать, что тяжелые минералы аллювиальных россыпей всегда в отложениях занимают нижнее положение, образуя продуктивный пласт, то при существующих методах разведки создается ложное впечатление о низком его содержании.

Во многих долинах боковые смещения водотоков достигают нескольких сот метров, поэтому в делювиальное состояние переходит значительное количество минерала. Ниже будет показано, что во многих россыпях основное количество минерала находится именно в делювиальном состоянии. В дальнейшем такие участки

россыпей в отличие от пластовых участков мы будем называть участками делювизации.

В рассматриваемой части россыпи запасы минералов останутся прежними, но они уже будут складываться из запасов пластовых участков поймы и террасы и участка делювизации на склоне. Направление врезающегося водотока по отношению направления россыпи может быть каким угодно (косым, параллельным и т. п.), но результат его проявления во всех случаях будет одним и тем же. Отличительной особенностью первого вида эрозионной деятельности водотоков является то, что речные отложения перерабатываются тем же водотоком, который их сформировал (см. рис. 13 и 17).

*Второй вид эрозионной деятельности водотоков.* Если водоток врезают в коренные породы в стороне на довольно большом расстоянии от россыпи, то последняя из долинной превратится в террасовую. При наличии бокового притока со стороны террасы последняя вместе с россыпью будет разрезана им в поперечном направлении. Часть аллювия главной долины, которая попадает в сферу воздействия притока, будет размыва и перетолжена, а минерал, как и в первом случае, лишь опустится по вертикали на величину врезания русла. Первоначально, когда приток будет работать в каньоне с отвесными склонами, россыпь в плане будет иметь прежний вид. Но по мере их выполаживания в опустившуюся часть россыпи с них будет поступать дополнительно некоторое количество минерала, вследствие чего в устье притока возникнет обособленный участок пластовой россыпи с заметно большей концентрацией минерала, чем в исходных участках на террасе. Выполаживание склонов каньона приведет к возникновению на них двух участков делювизации (рис. 9). Если по этому отрезку россыпи построить продольный график распределения минерала, то он будет иметь два пережима с пиком в середине, формально указывая на нарушение сплошности в распределении минерала. По существу это всего лишь внутреннее перераспределение. Общее количество его в этом отрезке останется неизменным.

В каких бы вариациях не происходила переработка россыпи главной долины притоком, всегда можно найти остатки прежней

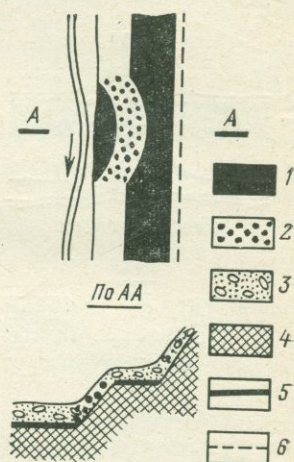


Рис. 8. Пространственное соотношение участков россыпи, обусловленное проявлением первого вида эрозионной деятельности водотока

1 — пластовые участки; 2 — участок делювизации; 3 — речные отложения; 4 — коренные породы; 5 — контур современной долины; 6 — контур старой долины

деятельности речной сети, которые дают возможность воссоздать первоначальное строение россыпи. В зависимости от ряда обстоятельств (наличие россыпи в самом притоке, оползание ее в главной долине с террасы в пойму, смещение притока и т. п., см. рис. 21) форма обособленного пластового участка россыпи в устье притока может иметь различные модификации. Но во всех случаях

его образование связано с эрозионной деятельностью притоков.

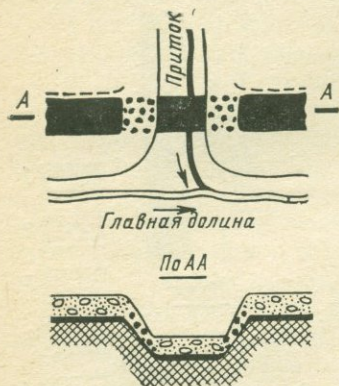


Рис. 9. Пространственное положение участков россыпи, обусловленное проявлением второго вида эрозионной деятельности водотока. Условные обозначения см. на рис. 8.

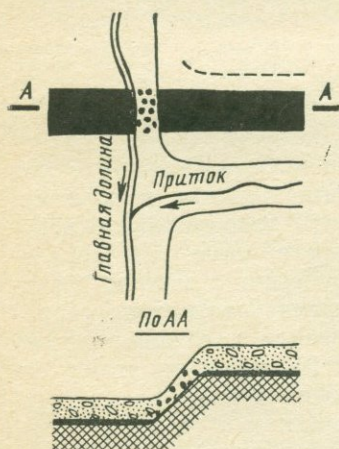


Рис. 10. Пространственное положение участков россыпи, обусловленное проявлением третьего вида эрозионной деятельности водотока. Условные обозначения см. на рис. 8.

Отличительной особенностью второго вида эрозионной деятельности водотоков является то, что отложения главной долины перерабатываются притоком (см. рис. 14). Скопления минералов в устьях притоков, несмотря на очевидную их принадлежность к главным долинам, как правило, документируются как россыпи притоков. Эта ошибка вносит путаницу в решение задач, связанных с постановкой разведочных работ в местах сочленения долин.

*Третий вид эрозионной деятельности водотоков.* В период углубления водотока главной долины в коренные породы он может смещаться и в сторону притока. В этом случае происходит захват водотоком главной долины нижней части отложений притока. Если приток имеет россыпь, то нижняя ее часть опустится на уровень поймы главной долины. В период подработки терраса притока с торцевой стороны будет обрываться почти отвесно и очертания россыпи в плане не изменятся. Но по мере блуждания водного потока в главной долине терраса притока будет постепенно выполаживаться, в торцевой стороне ее возникнет участок делювизации и россыпь примет вид, как показано на рис. 10. И в этом случае запасы минерала в россыпи, как и при двух других видах переработки, останутся неизменными. Примерами таких россыпей могут служить россыпи, изображенные на рисунках 15 и 16.

В зависимости от ряда обстоятельств (частичное или полное опол-

зание россыпи с террасы в пойму долины притока и т. п. (данный вид эрозионной деятельности тоже имеет ряд модификаций. Но все они возникают только в результате переработки отложений притоков водотоками главных долин. В практике разведки нижние участки россыпей притоков, захваченные водотоками главных долин, ошибочно документируются как поперечные россыпи главных долин, что ведет к путанице при их разведке.

*Четвертый вид эрозионной деятельности водотоков.* В развитии речной сети иногда водотоки двух параллельных долин, одновременно углубляясь в коренные породы, смещаются в одну и ту же сторону. Тогда рано или поздно водоток наступающей долины достигнет речных отложений отступающей долины и начнет их перерабатывать. Если в этих долинах имеются россыпи, то в ложе наступающей долины возникнет участок россыпи, параллельный россыпи этой долины. А на склоне наступающей долины возникнут участки делювизации.

Четвертый вид переработки речных отложений очень редок. В Колымском бассейне автору известен лишь один такой случай, поэтому в дальнейшем на этом виде переработки останавливаться не будем.

Строго говоря, второй и третий виды эрозионной деятельности водотоков одинаковы, так как переработке подвергаются речные отложения в местах сочленения долин. Разделение их на два отдельных вида диктуется тем, что сочленяющиеся долины по мощности водотоков обычно разные. По этой причине существуют понятия «главная долина» и «приток». Неодинаковые величины сочленяющихся долин обуславливают разные особенности в строении размываемых частей россыпей.

При проявлении второго вида эрозионной деятельности на увалах долин всегда возникает два участка делювизации, при проявлении же третьего вида — только один. В тех случаях, когда сочленяющиеся долины примерно одинаковы, для установления положения различных частей размываемых россыпей можно принимать одну из сочленяющихся долин за главную, а другую за приток и во всех случаях россыпи поддаются расшифровке. Этими четырьмя видами и исчерпывается все многообразие эрозионной деятельности водотоков в речной сети. Любой участок речной сети, который пережил несколько эрозионных циклов, всегда может быть отнесен к одному из четырех видов переработки отложений или к их сочетанию.

Сведя все многообразие эрозионной деятельности водотоков всего к четырем видам и показав, что во всех случаях размываемые участки россыпей только опускаются на более низкие горизонты с переходом части минерала из пластового состояния в состояние делювизации, рассмотрим, как отразится в целом эрозионный цикл на строении составной россыпи, изображенной на рис. 7.

Допустим, что в отрезке гидросети *A* (рис. 11) водоток, врезавшись в коренные породы на какую-то глубину, образовал из-

вилистый каньон, который в нескольких местах пересекает россыпь. Поскольку при вертикальном врезании русла минерал испытывает только вертикальное перемещение, россыпь в этом отрезке претерпит лишь несколько вертикальных разрывов. Форма россыпи в плане и распределение минерала в ней останутся неизменными. Участки делювизации почти не возникнут. Аналогичное положение имеет место также в отрезках гидросети *В* и *Д*,

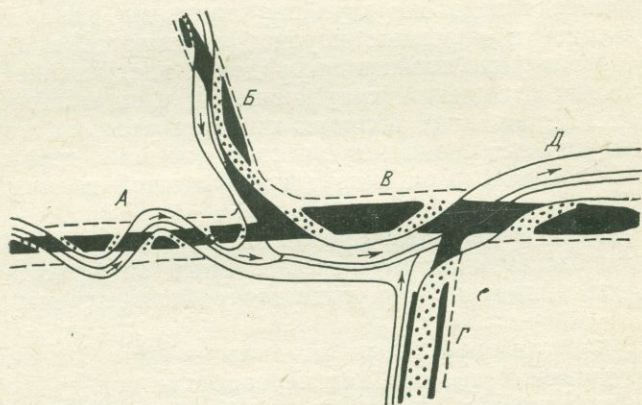


Рис. 11. Пространственное положение участков составной россыпи, обусловленное перестройкой речной сети в течение эрозионного цикла. Условные обозначения см. на рис. 8

где уже более мощный водоток успеет не только углубить долину, но и значительно расширить ее. В отрезках же гидросети *Б* и *Г*, где водотоки наряду с углублением смещались в стороны, возникнут участки делювизации значительных размеров. Кроме того, в устье притока *Б* за счет поперечного размыва водотоком долины *Б* террасовой россыпи главной долины возникнет обособленное скопление минерала с большей концентрацией, чем у исходной террасовой россыпи. В целом россыпь несколько изменит очертания в плане, но благодаря наличию участков делювизации сохранит преemblенность с россыпью, изображенной на рис. 7.

Если в устье долины *Б* обособленное скопление минерала мысленно рассредоточить между участками россыпи, оставшимися на террасе в отрезках долин *А* и *В*, и построить по всем отрезкам продольные графики количественного распределения минерала, то получатся односторонние или двусторонние усеченные кривые, как и в составной россыпи, изображенной на рис. 7. Таким образом, в ходе переживания гидросетью эрозионных циклов нарушение количественного распределения минерала по протяжению россыпей может происходить лишь в случае поперечных их размыв-

вов. Продольные или косые размывы таких нарушений не производят.

Показанное на рис. 11 положение составной россыпи может возникнуть на геологическом плане, если данные разведки достоверно отражают количество и физическое состояние минерала в гидросети. Но такого положения в практике не бывает. В период осуществления разведки неизбежно возникают ошибки. Причем они носят систематический характер и проявляются в следующих видах:

1) из-за несовершенства средств и методов разведки некоторые разведочные выработки проходят некачественно и в россыпях возникают мнимые ветви, пережимы и разрывы;

2) из-за заблуждения о перемещаемости тяжелых минералов места пересечений россыпей каньонами почти не подвергаются разведке и значительные участки их остаются невыявленными;

3) из-за неправильного определения границ четвертичных отложений некоторая часть пластовых участков россыпей на террасах остается невыявленной;

4) из-за неправильного оконтуривания россыпей на планах в контуры включают пустые площади и исключают продуктивные. Особенно часто это бывает в местах сочленения россыпей. (Данный вид ошибок более подробно рассмотрен ниже);

5) так как участки делювизации в геологии россыпей, как разновидность пространственного распределения минералов в рыхлых отложениях, неизвестны, то их разведкой не выявляют и не документируют.

Чтобы выяснить, как указанные ошибки искажают на геологических планах строение россыпей, введем в схему составной россыпи (см. рис. 11) некоторые изменения, обуславливаемые этими ошибками (рис. 12):

1) в отрезках гидросети *В* и *Г* в пластовых частях россыпи покажем мнимые разрыв и пустой участок;

2) в отрезках гидросети *Б* и *Г* границы четвертичных отложений покажем не полностью, а лишь на уровне современной поймы. Вместе с тем исключим и пластовые участки россыпи, выпавшие из поля зрения;

3) в отрезке долины *А* исключим участки россыпи, пересеченные каньоном;

4) в устье долины *Б* скопление минерала, возникшее в результате переработки террасовой россыпи главной долины водотоком долины *Б*, удлиним примерно в 2 раза, а в месте сочленения россыпи долины *В* с россыпью долины *Г* за счет спрямления их контуров включим участок пустой площади;

5) полностью исключим участки делювизации.

Введение этих изменений настолько изменяет картину строения россыпи, что она из составной превращается в ассоциацию пластовых самостоятельных россыпей, залегающих на различных геоморфологических уровнях. Преемственность между россыпями,

изображенными на рис. 7 и 12, уже не улавливается. Вот так в принципе и выглядят на геологических планах россыпи после завершения разведки.

Проводя разведку россыпей с максимумом предосторожностей и неизменно получая на геологических планах разрозненные скопления минерала различной концентрации, разведчики неминуемо приходят к выводу, что такое строение россыпей обуслов-

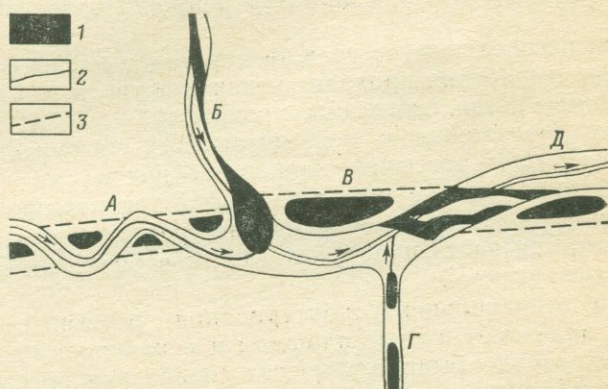


Рис. 12. Искаженная конфигурация составной россыпи, обусловленная допущенными во время разведки систематическими ошибками

1 — пластовые участки, залегающие на различных геоморфологических уровнях; 2 — границы современной гидросети; 3 — границы приподнятой гидросети

лено перемещаемостью минерала. Именно по этой причине и возникла ложная теория образования россыпей. Чрезвычайно большая ее живучесть объясняется еще и тем, что она внешне очень правдоподобна и позволяет оправдывать любые промахи в работе разведчиков и эксплуатационников.

Потери минерала в недрах, обусловленные перечисленными ошибками, по мере проведения доразведок постепенно выявляются, и строение россыпей на планах приближается к истинному. Но обычно выявляют лишь пластовые участки, а участки делювициации остаются в потерях почти полностью. Возникают вопросы. Как вести разведку россыпей, чтобы избежать доразведок? Как определить, что минерал в россыпи выявлен полностью? На какой стадии работ разведку следует прекращать?

Изложенные нами особенности образования и преобразования россыпей показывают, что им присущи следующие закономерности и свойства:

- 1) россыпи могут начинаться только от рудных тел;
- 2) в россыпях, питающихся из одного рудного тела (простых россыпях), количество минерала по протяжению долины постепенно возрастает, достигает максимума и, постепенно убывая,

сходит на нет. Пережимы и разрывы исключаются. Россыпи, питающиеся из нескольких рудных источников (составные россыпи), есть линейные комбинации простых россыпей;

3) окончание россыпи всегда характеризуется пылеобразной фракцией минерала;

4) в периоды размывов, за исключением поперечных, как правило, приуроченных к местам сочленения россыпей, части россыпей опускаются на более низкие горизонты долин, что приводит к изменению их формы; изменений же общего количества минералов в продольном направлении не происходит;

5) опускание размываемых частей россыпей сопровождается переходом некоторой части минерала из пластового состояния в состояние делювизации.

Исходя из этого, для полного выявления запасов минерала необходимо расчленять составные россыпи на отрезки, ограниченные точками сочленения простых россыпей, и по каждому из них составлять продольные графики количества минерала. Один резкий скачок количества минералов в отрезке может возникнуть за счет ошибки, допущенной в период разведки или подсчета запасов. Если же в отрезке имеется несколько пиков примерно одного уровня, это уже не случайность. Соединив пики плавной линией, получим общий уровень, характеризующий количество минерала в данном отрезке. Величины отклонений в различных местах фактической линии графика от теоретической будут указывать на степень выявленности минерала в отрезке.

Критерий полной разведанности сложной россыпи можно сформулировать так: если от ее начала (от коренных рудных тел) до конца (до перехода минерала в пылеобразную фракцию) во всех отрезках гидросети, ограниченных точками сочленения составляющих простых россыпей, распределение количества минерала (в пласте на всех геоморфологических уровнях долины плюс участках делювизации) соответствует закономерности его распределения в простой россыпи, то запасы его выявлены полностью и разведочные работы следует прекратить.

## ПРИМЕРЫ ИЗ ПРАКТИКИ

Справедливость изложенных положений в распределении минералов проверялась на ряде колымских золотых и касситеритовых россыпей. Некоторые из них описаны в качестве примеров ранее (Бондаренко, 1957). Но это были россыпи, которые или совсем не подвергались размывам и целиком залежали на одном геоморфологическом уровне долины или, если подвергались размывам, то в весьма незначительных масштабах. По этой причине у данных россыпей количество золота, перешедшего в состояние делювизации, было незначительным. Пропущенные при разведке их части полностью или почти полностью находились в пластовом состоянии, и россыпи неплохо приводились к выдержанному виду.

Например, в россыпи ручья Зимнего, залегавшей на двух геоморфологических уровнях, где величина вертикального разрыва составляла всего 16 м, а боковое смещение опущенной части 30 м, количество минерала, перешедшего в состояние делювизации, было весьма незначительным и после обнаружения на террасе недостающей части россыпь в количественном отношении оказалась выдержанной.

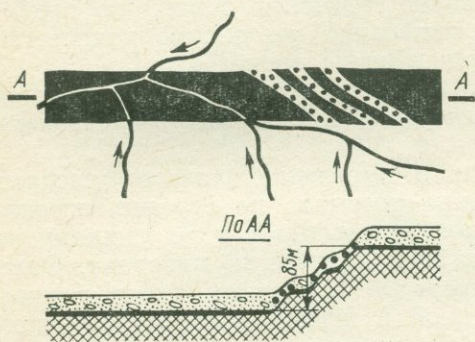


Рис. 13. Строение россыпи, обусловленное косой переработкой водотоком. Условные обозначения см. на рис. 8

Ревизия россыпей, в которых размытые части опустились по вертикали на десятки метров, а смещения в стороны достигают сотен метров, показала вначале, что количество золота в них не балансируется по приведенной схеме. Это обстоятельство поставило под сомнение универсальность установленной нами закономерности количественного распределения минералов в россыпях. При более детальном изучении особенностей преобразования таких россыпей водотоками выяснилось, однако, что распределение золота в них во всех случаях подчиняется данной закономерности. А причина мнимого несоответствия заключалась в том, что отчасти из-за несовершенства средств и методов разведки, а отчасти из-за отсутствия сведений о переходе золота из пластового состояния в состояние делювизации значительная часть его выпадает из поля зрения.

Чтобы составить представление о масштабах потерь золота в недрах из-за недоучета его в участках делювизации и в дальнейшем не допускать их, разберем несколько наиболее характерных примеров. Причем используем в основном россыпи, которые давно считаются разведанными и отработанными.

Россыпь ручья в районе одного правого притока (рис. 13) систематически подвергается размыву собственным водотоком. Причем врезание водотока происходит с одновременным смещением его в левую сторону. К настоящему времени разница между частью россыпи, оставшейся на террасе, и частью, опустившейся на более низкий горизонт, достигает 85 м. По характеру эрозионной деятельности водотока этот участок долины может служить примером первого вида переработки отложений.

Несмотря на то, что при разведке промывались только нижние проходки из-за довольно большого содержания, на склоне все-таки было зафиксировано промышленное золото. Обработка склона проводилась открытым способом и основная часть золота была выложена в отвалы вместе с торфами. В последующем эти отвалы были объектом старательской добычи.

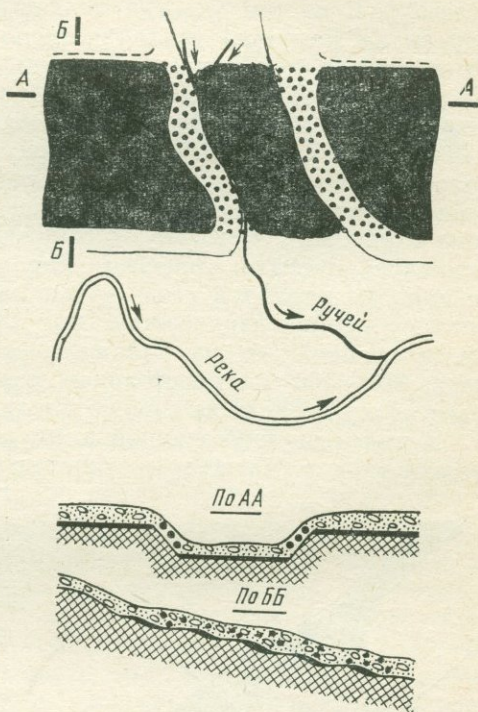


Рис. 14. Скопление золота в устье ручья, возникшее в результате переработки его отложений главной рекой. Условные обозначения см. на рис. 8

В устье одного ручья в конце тридцатых годов была обнаружена обособленная пластовая россыпь золота (рис. 14). Причиной возникновения ее, как и других россыпей такого типа, считались благоприятные условия для улавливания золота плотиком. Первоначально россыпь имела незначительные размеры и изометричную форму, но по мере доразведок ее параметры постепенно изменились и россыпь приняла вид, изображенный на рис. 14. В последующем выяснилось, что россыпь залегает строго в створе двух россыпей главной реки, залегающих на разных уровнях левых ее террас (наиболее высокая на 150 м). Обнаруженные россыпей на террасах сразу опровергло версию о происхождении описываемой россыпи в результате стечения каких-то чисто местных благоприятных условий и показало, что она возникла за счет поперечной переработки россыпи главной реки

водотоком притока. Данная россыпь может служить примером второго вида эрозионной деятельности водотоков.

По количеству пройденных разведочных выработок россыпь переразведана и считается не представляющей интереса для прироста запасов. Но в действительности запасы золота там еще значительны. Прежде всего следует разведать склоны долины между описанным скоплением золота и террасовыми частями россыпи. Ведь это участки делювизации. Причем, поскольку по вертикали величина врезания ручья достигает примерно 150 м, то количество золотоносных рыхлых отложений на склонах должно достигать весьма значительных объемов. Кроме того, сами террасовые россыпи залегают на нескольких уровнях и за исключением самой высокой террасовой части также перекрываются золотоносными склоновыми отложениями. Проводившейся ранее разведкой золото выявлено в самых нижних горизонтах этих отложений. Верхние их горизонты не опробовались, так как считались пустыми торфами. Для определения запасов золота вполне достаточно в устье ручья на каждом из участков делювизации пройти в разбежку по 15—20 шурфов, а на левом увале главной долины заложить несколько разведочных линий через 300—400 м с расстоянием между шурфами 20—30 м и промывать снизу доверху на горную массу.

В ранее опубликованной нами работе в числе примеров, приводившихся в качестве доказательства неперемещаемости золота описывалась россыпь одного ручья. Нижняя часть россыпи залегают частью на левой террасе самого ручья, а частью в пойме реки, в которую впадает ручей, и может служить примером третьего вида эрозионной деятельности водотоков (рис. 15). Россыпь считается полностью отработанной, но в действительности там есть невыявленное золото, которое может стать объектом эксплуатации. Это в первую очередь касается участков делювизации, возникших в среднем течении ручья вследствие переработки россыпи двумя левыми притоками, и участка делювизации при опускании ее нижней части в пойму реки.

Данная россыпь интересна и в другом отношении. Из рис. 15 видно, что она обрывается

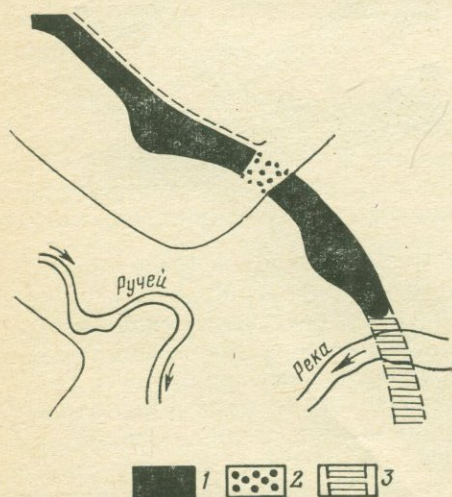


Рис. 15. Строение нижней части россыпи ручья после переработки ее нижней части главной рекой

1 — пластовые участки; 2 — участок делювизации; 3 — предполагаемые границы продолжения россыпи

у самого русла реки. Гранулометрический состав золота в месте обрыва россыпи такой же, как и в отработанных ее частях. Следовательно, обрыв не является естественным окончанием россыпи. Когда в геологии россыпей безраздельно господствовало представление о перемещаемости золота, такой обрыв россыпи считался естественным ее окончанием и поэтому за руслом разведка не производилась. Теперь же, когда представление о поведении золота изменилось, встает вопрос о выявлении продолжения этой россыпи как под руслом реки, так и на левой ее стороне. Причем, надо иметь в виду, что она окончится тогда, когда в ней золото перейдет в пылеобразную фракцию. В Колымском бассейне случаи обрывов россыпей у водных преград не единичны.

В бассейне одной реки имеется небольшой приток (рис. 16) с россыпью, которая очень детально разведана и уже давно отработана, но там еще остались невыявленные запасы промышленного золота. Изучение геоморфологии района показывает, что когда речная сеть находилась на 20 м выше современного уровня,

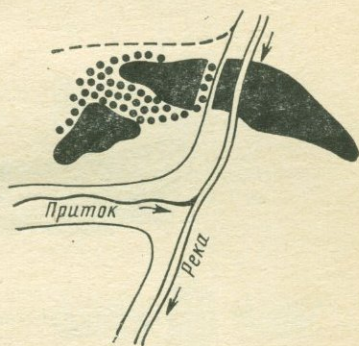


Рис. 16. Строение россыпи ручья, возникшее вследствие проявления первого и третьего видов эрозивной деятельности водотоков при согласном смещении притока. Условные обозначения см. на рис. 8

этот приток впадал в главную долину примерно на 300—400 м дальше, чем сейчас. Соответственно и протяженность его долины была больше на 300—400 м. В то время россыпь целиком залегала в долине притока, находилась в одной плоскости и была выдержанной как по форме, так и по распределению золота. После врезания реки в коренные породы на 20 м и смещения вправо на 300—400 м россыпь распалась на три обособленных участка. В верхней части долины притока, где ручей врезался в коренные породы непосредственно по россыпи и сместился в правую сторону, россыпь опустилась на 20 м ниже и сместилась вправо примерно на 40 м. Нижняя часть россыпи вследствие подработки рекой опустилась в пойму главной долины, а средняя осталась на левой террасе притока.

В результате в россыпи образовались два участка делювизации. Один из них, возникший при опускании нижней части россыпи в пойму главной долины и расположенный в почти отвесном борту, по размерам незначителен и не представляет практического интереса. Другой участок, образовавшийся в верхней части притока, несомненно имеет промышленное значение, так как в отработанных пластовых участках россыпи золото было богатым, а участок делювизации занимает на склоне довольно

значительную площадь. Разведка прошлых лет в принципе подтвердила на этом склоне наличие золота, но поскольку промывались лишь нижние горизонты отложений, в целом запасы остались не выявленными. Разведывать этот участок следует путем проходки в разбежку 10—15 выработок с валовой их промывкой.

В бассейне другого ручья имеется золотоносный приток I (рис. 17). Россыпь этого притока складывается из двух простых



Рис. 17. Строение составной россыпи двух сливающихся притоков ручья. Условные обозначения см. на рис. 8

россыпей: из россыпи самого притока I и россыпи правого его притока II. С момента образования россыпи гидросеть пережила несколько эрозионных циклов и распалась на несколько пластовых участков, залегающих на разных уровнях долины. Самый высокий из них находится на 40-метровой террасе, а самый низкий на уровне современной деятельности водотока. К началу шестидесятых годов описываемая россыпь была довольно детально разведана и за исключением россыпи притока II уже отработана. Однако в 1962 г. данные разведки были подвергнуты ревизии, которая показала, что запасы золота в россыпи далеко еще не выявлены и имеют промышленное значение.

В первую очередь было обращено внимание на то обстоятельство, что сумма количеств золота в поперечных сечениях простых россыпей не соответствует количеству золота в поперечном сечении образуемой ими общей россыпи. Это явно указывало на то, что в какой-то из простых россыпей запасы золота выявлены не полностью. Внимание было обращено на плохо морфологически выраженную правую террасу в верховьях притока I. Пройденная там бульдозером траншея вскрыла пластовый участок россыпи (на рис. 17 обозначена стрелкой). Одновременно исследовался также и участок делювизации, находящийся между пластовыми участками. Поскольку ряд шурфов прежней разведки на склоне показал низкое содержание золота с растянутым по вертикали пластом, было решено набрать опытный полигон и отработать его на горную массу. Отработка этого полигона показала, что весь участок делювизации пригоден для промышленной отработки.

В притоке II проявились все три вида эрозионной деятельности водотоков. Расчленение россыпи в продольном направлении на несколько пластовых участков с образованием большого участка делювизации на правом склоне долины — первый вид. Переработка террасовой россыпи притока I притоком II — второй вид. Захват нижней части россыпи притока I водотоком ручья, в который он впадает, — третий вид эрозионной деятельности водотоков (на рис. 17 ручей не показан).

Уже говорилось, что в числе систематических ошибок, искажающих строение россыпей на геологических планах, есть ошибки, которые возникают из-за неправильного оконтуривания россыпей в местах их сочленений. Основная причина этих ошибок заключается в том, что при проявлении второго и третьего видов эрозионной деятельности водотоков подвергающиеся переработке участки россыпей относят не к тем частям гидросети, к которым они действительно принадлежат. В результате в одних случаях в промышленные контуры включают пустые площади, а в других — исключают продуктивные площади. Это приводит к переработке значительных объемов пустой породы и к потерям минерала в недрах.

Чтобы понять, как возникают эти ошибки и что следует предпринимать для их предотвращения, рассмотрим некоторые примеры сочленения россыпей.

На рис. 18,а показан типичный случай переработки части россыпи главной долины притоком. Как уже отмечалось, подобные скопления минерала, независимо от того, обнаружены на террасах главных долин пластовые россыпи или нет, документируют как самостоятельные россыпи притоков. Поэтому их разведуют линиями, закладываемыми в крест простирания не главных долин, а долин притоков. Поскольку границы россыпей определяют биссектрисами между пустыми и продуктивными разведочными выработками, то в случае закладки разведочных линий в приграничных частях россыпи в контуры последней включают пустые площади и в результате происходит мнимое удлинение скоплений минерала как вверх, так и вниз на 30—40 м. Протяженность россыпи в устье притока получается значительно больше ширины россыпи главной долины, за счет которой она образова-

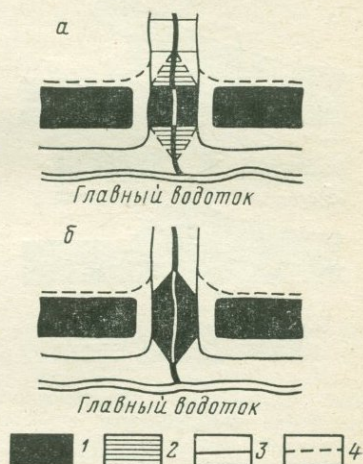


Рис. 18. Принятые принципы оконтуривания продуктивных площадей (а) и последствия допущенных ошибок (б)

1 — продуктивные площади; 2 — пустые площади; 3 — контур современной долины; 4 — контур старой долины

лась, и создается впечатление, что это самостоятельная россыпь притока или часть россыпи главной долины, которая разволочилась притоком (см. рис. 18, б).

Если в притоке имеется своя россыпь, то пустую площадь включают в промышленные контуры только в нижней части. Чтобы избежать подобной ошибки, надо нижние и верхние границы описанных приустьевых скоплений минералов определять не по биссектрисам между пустыми и продуктивными разведочными выработками, а путем проходки снизу и сверху дополнительных оконтуривающих выработок.

На рис. 19, а показан пример, когда разведка долины ведется без учета возможных россыпей в боковых притоках. Если к россыпи главной долины примыкает россыпь притока, которая неизвестна в момент разведки, то разведочные линии, закладываемые в крест простирания главной долины, обязательно подсекут ее нижнюю часть. При формальном оконтуривании в этом месте в россыпи главной долины резко увеличится количество минерала (см. рис. 19, б). Такого рода раздувы принято объяснять особенностями строения плотика. Чтобы

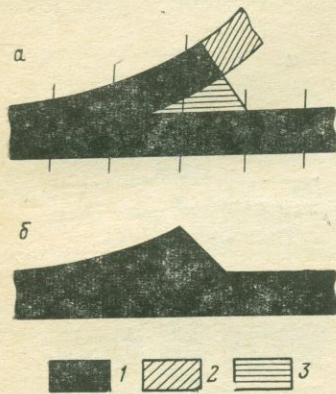


Рис. 19. Схема неправильного оконтуривания россыпи в месте примыкания россыпи притока к россыпи главной долины

1 — продуктивная площадь; 2 — участок россыпи притока, теряемый из-за неправильного ее оконтуривания; 3 — пустая площадь

избежать ошибок, следует при обнаружении таких случаев закладывать против притоков разведочные выработки, ориентированные по простиранию главной долины.

В распределении тяжелых минералов в россыпях иногда встречается одна особенность, обусловленная мягкостью жильной породы. В этом случае значительная часть минерала переходит в свободное состояние еще на склоне. Спустившись со склона в долину в прибортовой ее части, он образует обособленно скопление. По этой причине максимум минерала в россыпи будет находиться не ниже рудного тела, как обычно, а против него.

В период преобразования россыпей вследствие сочетания первого со вторым и первого с третьим видами эрозионной деятельности водотоков в местах сочленения долины нередко возникают такие формы, которые приводят к ложным представлениям о развитии речной сети и поведении минерала в рыхлых отложениях, а следовательно, и к неправильной постановке разведочных работ. Поэтому на них следует остановиться отдельно.

В тех случаях, когда водоток главной долины производит врезание на достаточно значительном расстоянии от своей рос-

сыпи, выполаживание кромки террасы не приведет к оползанию минерала на более низкий уровень. Опушенная водотоком притока часть россыпи будет находиться строго в створе частей, находящихся на террасе, т. е. будет иметь вид как показано на рис. 14. Но если врезание русла произойдет в непосредственной близости от россыпи, то в период выполаживания террасы коследняя может в значительной степени или даже полностью опуститься на более низкий горизонт, где и будет приведена водотоком в пластовое состояние. В целом россыпь примет вид как показано на рис. 20. В процессе оползания россыпи в пойму на склоне останется некоторая часть минерала в состоянии делювизации. Но поскольку средства и способы ведения разведки на россыпях не позволяют выявлять минерал в таком состоянии, то создается впечатление, что россыпь первоначально возникла на этом уровне, а обособленный пластовый участок в устье притока образовался за счет смещения части россыпи в долину притока, когда водоток последнего работал в обратном направлении.

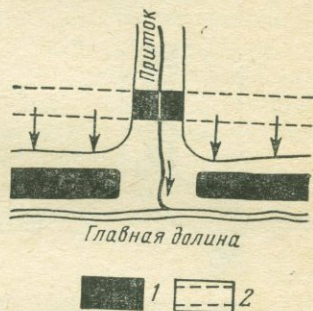


Рис. 20. Строение россыпи, возникшее вследствие сочетания первого и второго видов эрозионной деятельности водотоков  
 1 — контур россыпи; 2 — первоначальное положение россыпи

Аналогичное положение возникает и при сочетании первого и третьего видов эрозионной деятельности водотоков. В этом случае, если россыпь после врезания водотока в притоке останется на террасе, то ее форма будет аналогична изображенной на рис. 15. Но если водоток притока начнет врезаться в непосредственной близости от своей россыпи, да при этом еще и смещаться в сторону против падения главной долины, тогда россыпь притока сместится в сторону от первоначального положения и в целом примет вид как показано на рис. 21. Как правило, величина бокового смещения достигает нескольких сот метров. Если не учитывать наличие минерала на склоне притока, находящегося в состоянии делювизации, и вообще пренебречь историей развития гидросети, то создается впечатление, что россыпь первоначально возникла в пойме притока, а вынос ее сместился вследствие смещения вниз по долине водотоком главной долины. Ю. А. Билибин (1956) наблюдал такие поперечные разрывы в россыпях и объяснял их переносом минерала.

Разобранные примеры строения россыпей, число которых можно намного увеличить, наглядно показывают, как допущение различного рода ошибок в период разведки приводит к искажению строения россыпей на геологических планах и дает представление о масштабах потерь золота в недрах.

При циркуляции в рыхлых отложениях каких-либо растворов, которые могут привести их к цементации, или перекрытию более поздними лавовыми или другими отложениями россыпь может перейти в ископаемое состояние. В период последующей деструкции горной страны россыпь превратится в рудное тело и уже будет поставлять во вновь возникшую гидросеть жильную породу. Поскольку более поздняя гидросеть не может совпадать с прежней гидросетью, возникающие за счет старой россыпи новые простые россыпи нарушат в ней количественное распределение минерала. Поэтому все изложенное в отношении распределения минерала в россыпях справедливо только для тех из них, которые не переходили в ископаемое состояние.

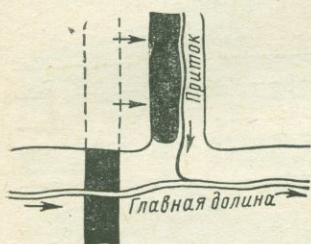


Рис. 21. Строение россыпи, возникшее вследствие сочетания первого и третьего видов эрозионной деятельности водотоков при несогласном смещении притока. Условные обозначения см. на рис. 20

россыпей («увальные» — Ю. А. Бибалин, 1956; «террасо-увальные» — Н. А. Шило и П. П. Карташов, 1966; «плащевидные» — И. С. Рожков, 1967 и др.) Горняки такие участки называют «горным свалом» или «перебутором». Когда на склонах концентрации золота достигают промышленных значений, их включают в отработку. Но так как в геологии россыпей отсутствовали сведения о механизме их возникновения (они считаются обыкновенными пластовыми россыпями, у которых отсутствуют торфа), выявление и отработка их носит случайный характер. Теперь же, когда выяснены причины их возникновения и установлена взаимосвязь с пластовыми участками россыпей, встает вопрос о целеустремленной их разведке и отработке.

При рассмотрении конкретных россыпей неоднократно отмечалось, что существующие способы проходки разведочных выработок и методы подсчета запасов, хотя и обнаруживают наличие минерала в участках делювизации, но не дают возможности определять его полностью. Это приводит не только к систематическому искажению данных об общем балансе минерала в россыпях и проведению ненужных доразведок, но и к значительным потерям его в недрах.

Минералы, плотность которых значительно больше плотности аллювия, как принято считать, занимают в отложениях нижнее положение, образуя в приплотиковой части так называемый про-

дуктивный пласт. Поэтому с целью экономии средств и времени при разведке промывают не все отложения, а только нижние их проходки. Верхние горизонты выкладывают в отвал и в лучшем случае лишь опробуют. Промывке обычно подвергают отложения нижних горизонтов мощностью 1—1,4 м. При рассредоточении минерала по всей толще склоновых отложений в промывку попадает значительно меньше минерала. Например, при мощности отложений 5 м количество выявленного минерала будет занижено в 4—5 раз. Естественно, отношение количества минерала к общей мощности отложений даст очень низкое среднее содержание на горную массу. А этот показатель является главным критерием при оценке россыпей. Занижение запасов в участках делювизации происходит и потому, что геологи в период разведки уделяют максимум внимания разведочным выработкам с высоким содержанием минерала, а выработкам с низким его содержанием не придают значения.

Количество золота, переходящего в состояние делювизации, зависит от числа пережитых гидросетью эрозионных циклов. В долинах с почти отвесными склонами каньонов такие участки незначительны и, по-видимому, не представляют практического интереса. В тех же долинах, где водотоки врезаются в коренные породы на 50—100 м и более и смещаются в стороны на 300—400 м, участки делювизации достигают значительных размеров и заключают в себе до 50—60% общих запасов золота россыпи. Причем во многих из них среднее содержание золота на горную массу даже выше, чем в обрабатываемых в настоящее время пластовых участках. Так, например, на одном из приисков, где по инициативе автора в 1962—1963 гг. были построены гидроэлеваторы, обрабатывавшие участки делювизации, добытое там золото оказалось значительно дешевле золота, добывавшегося из пластовых участков.

В традиционных районах добычи золота вероятность обнаружения крупных запасов золота в пластовом состоянии весьма мала. Что же касается запасов, находящихся в состоянии делювизации, то они значительны и в сущности еще не затронуты разведкой. По-видимому, не все такие участки пригодны для обработки в настоящее время, однако выявлять и учитывать их необходимо. По мере развития техники они постепенно включаются в эксплуатацию. Разумеется, разведывать их нужно только с валовой промывкой.

Возникает вопрос, по каким признакам одни разведочные выработки подвергать отдельной промывке, а другие — валовой? Причем эти признаки должны быть предельно просты и понятны даже рабочим, занятым на разведке. Надежным признаком может служить вещественный состав отложений. Если в разведочной выработке наряду со льдом, илом, щебенкой и т. п. встречается галька, это указывает на то, что выше имеется участок речной сети. Такую выработку следует промывать на гор-

ную массу. В практике ведения подземных работ на россыпях нередко случаи вывалов ледянистой кровли, что затрудняет поддержание кровли в безопасном состоянии. Это также явный признак делювизации. Такие шахты следует останавливать и их проходы отрабатывать на горную массу. Необходимо также изменить учет движения запасов по россыпным месторождениям. Он должен вестись так, чтобы было видно, сколько минерала в россыпи находится в пластовом состоянии, а сколько в состоянии делювизации.

И, наконец, участки делювизации могут служить неплохим поисковым критерием при постановке разведочных работ. Если, например, в долине имеется несколько террас, то, опробовав копушением склон между ними, можно получить представление о золотоносности этих террас. Если приток пересекает террасу главной долины, то достаточно в его устье опробовать копушами склоны долины и сразу станет ясно, имеется ли на террасе золото. И, наоборот, если со стороны главной долины опробовать конец террасы притока, можно узнать о его золотоносности.

## ДОСТОВЕРНОСТЬ ДАННЫХ РАЗВЕДОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ

При разработке россыпей нередко данные эксплуатации не совпадают с данными разведки. Принято считать, что причина этого кроется в несовершенстве методов подсчета запасов и расчета густоты сети разведочных выработок. Знак ошибки подсчета запасов может быть как положительным, так и отрицательным. В. В. Богацкий (1963, стр. 50) оценивает данные разведочной выработки так: «Возможность непосредственного... отбора пробы и замера мощности является... эталоном полной достоверности исходных разведочных данных. С этих позиций эталонная достоверность исходных данных, получаемых при разведке шурфами... не вызывает сомнений». Аналогичные высказывания имеются у А. В. Хрипкова (1958), А. П. Божинского, И. Л. Каллистова и др.

Многолетнее изучение технологии проходки шурфов, методики подсчета запасов и способов отработки золотых россыпей убеждает автора в том, что резкие расхождения между результатами разведки и эксплуатации обуславливаются в основном не способами расчета густоты разведочных выработок и подсчета запасов, а неправильной оценкой данных разведочных выработок.

Проходка любой разведочной выработки предусматривает получение сведений как о пространственном положении рудного тела, так и о количестве полезного ископаемого. А любые измерения, с какой бы тщательностью они не проводились, всегда сопровождаются элементарными ошибками, алгебраическая сумма которых составляет общую ошибку измерения. Согласно «Теории ошибок измерений» (Кемниц, 1967 и др.) элементарные ошибки делятся на два вида: систематические и случайные.

Систематические ошибки возникают с каким-либо одним знаком и по мере увеличения элементарных операций измерения накапливаются. Случайные ошибки могут быть как со знаком минус, так и со знаком плюс; по мере увеличения элементарных операций они взаимно уничтожаются.

Исходя из этого проходка любой разведочной выработки, как бы она тщательно не проводилась, не может служить, как это принято думать, «эталонном полной достоверности исходных разведочных данных». Мало того, как будет показано ниже, в зависимости от стечения сопутствующих разведке обстоятельств элементарные ошибки могут накапливаться либо только со знаком плюс, либо только со знаком минус, тем самым определяя знак общей ошибки для отдельно взятой разведочной выработки или даже для целой их группы.

Как возникают элементарные ошибки различного знака и как они суммируются в одну общую ошибку можно понять, если комплекс проходческих и камеральных работ на разведке разложить на отдельные операции. Автору наиболее детально довелось изучать технологию проходки шурфов и их камеральную обработку при разведке россыпного золота и касситерита. Для наглядности результаты наблюдений сведем в таблицу.

Таблица

Вероятность возникновения элементарных ошибок при проходке шурфа

Операция	Знак ошибки	
	+	-
Проходка растительного слоя	0	—
Проходка торфов	0	—
Выкладка проходок	0	—
Отставание промывочных работ от проходческих	0	—
Некачественная добивка шурфа	0	—
Промывка проходок	0	—
Просушка, предварительный отдув и капсулирование золота	0	—
Транспортировка капсулей	0	—
Камеральный отдув капсулей	0	—
Взвешивание золота	+	—
Подсчет количества золота и оформление журнала разведочных выработок	+	—

Толщину горной массы, которую приходится вскрывать при проходке на россыпях, принято разделять на четыре горизонта: растительный слой, торфа, продуктивный пласт и коренные породы. При проходке растительного слоя порода в отвал не выкладывается, не промывается и не опробуется. Если в данном слое будет некоторое количество золота (например, в участках

делювизации), то оно уже не попадет в данные разведочной выработки. Следовательно, на первой операции потенциально возможна потеря некоторого количества золота, т. е. ошибка может быть только с знаком минус. Поэтому в таблице поставим знаки ноль и минус. При проходке торфов порода выкладывается в отвал и подлежит только опробованию. При ее опробовании может иметь место пропуск золота, поступление же его извне исключается. Следовательно, осуществление и второй операции потенциально несет в себе ошибку только со знаком минус (знаки ноль и минус в таблице).

Для предупреждения потерь золота выкладка породы в проходки, подлежащие промывке, начинается заблаговременно. Горизонт, с которого торфа начинают выкладывать в проходки, определяют по ряду косвенных признаков, весьма далеких от совершенства, из-за чего нередко случаи преждевременной их выкладки. Тогда подготовленная для выкладки проходок площадка оказывается недостаточной и для размещения последующих проходок верхние проходки разравнивают или просто разбрасывают. Бывают также случаи, когда выкладка проходок запаздывает, и порода из продуктивного пласта попадает в отвал и тем самым исключается из промывки. Таким образом, начало выкладки проходок потенциально также влечет за собой потерю золота и, следовательно, ошибка будет иметь знак только минус.

По ряду причин промывочные работы иногда отстают от проходческих на несколько месяцев. В таком случае проходки подвергаются воздействию атмосферных осадков, а то и затоплению паводковыми водами. По этой причине некоторая часть золота спускается в растительный слой, где и теряется (знак минус в таблице).

По инструкции шурф должен быть пройден в коренных породах на глубину до 1 м. Но бывают случаи, когда прослой сцементированной щебенки или глины ошибочно принимаются за плотик («ложный плотик») и проходка шурфа на этом останавливается. Часть пласта, причем, как правило, наиболее продуктивного, теряется (знак минус в таблице).

При промывке проходок, как бы тщательно она не осуществлялась, всегда происходит снос золота с лотка в хвосты. Следовательно, ошибка всегда будет только со знаком минус (см. таблицу). Просушка, предварительный отдув и капсулирование также приводят к потере некоторого количества золота (знак минус в таблице). При транспортировке капсулей не исключена возможность потери части золота, поэтому ошибка будет также иметь знак минус (см. таблицу).

При взвешивании исполнитель может допустить ошибку как в сторону занижения, так и в сторону завышения. Поэтому знак ошибки в этом случае может быть как минус, так и плюс. При подсчете количества золота и оформлении основного документа разведки — журнала разведочных выработок вероятность допу-

щения ошибки может быть как в сторону занижения, так и в сторону завышения (знаки плюс и минус в таблице). Оформлением журнала разведочных выработок и исчерпываются элементарные операции по определению количества золота в шурфе.

Из таблицы видно, что при проходке шурфа ошибки элементарных операций могут быть как систематические, так и случайные. Причем систематические ошибки будут иметь только знак минус. По ряду причин (личные качества исполнителей и т. п.) соотношение величин ошибок с различными знаками не всегда будет одинаковым. Но анализ таблицы показывает, что количество операций со знаком минус явно преобладает, т. е. при проходке шурфа условий для занижения запасов возникает больше, чем для их завышения. При подсчете же запасов по блокам, полигонам или месторождениям, где участвует много шурфов, вероятность занижения запасов еще больше увеличивается и знак ошибки (минус) приобретает устойчивый характер.

В одном отдельно взятом шурфе соотношение величин систематических и случайных элементарных ошибок может быть каким угодно. Следовательно, запасы минерала, подсчитанные на основе данных этого шурфа, могут быть как завышенными, так и заниженными. Но чем большим количеством шурфов вскрыта разведываемая площадь, тем в большей степени нивелируются случайные ошибки и результат определяется суммированием систематических ошибок, в данном случае, как видно из таблицы, ошибками почти всегда с отрицательным знаком. Тем самым запасы минерала в россыпях, получаемые на основе шурфовки, всегда занижаются.

Для других видов полезных ископаемых и других способов ведения разведки результаты качественной оценки комплекса проходческих и камеральных работ могут быть и другими. В принципе не исключена возможность, что общая ошибка разведки может приводить даже к систематическому завышению запасов. Но это можно установить, если комплекс разведочных работ будет разложен на отдельные операции с последующей оценкой в них знаков элементарных ошибок. Вывод о систематическом занижении запасов россыпей, разведываемых шурфами, подтверждается многолетними наблюдениями автора как за проходкой шурфов, так и за обработкой самих месторождений.

После обработки любого месторождения составляют сравнительные таблицы отхода по ряду показателей, в том числе и по количеству минерала, и выводят соответствующие коэффициенты. Коэффициент намыва золота на россыпях, как правило, колеблется в пределах 1,10—1,15. Эти 10—15% объективно отражают собой суммарную ошибку. Данный показатель принято вводить в качестве поправки в ближайшие объекты, подлежащие обработке.

В практике имеются случаи, когда золота добывается меньше, чем было подсчитано. Их, как правило, принято объяснять небреж-

ным ведением разведочных работ или даже умышленным завышением количеств золота разведчиками. Причины здесь другие. Во-первых, при многократных камеральных пересчетах запасов на планах, по которым производится набор контуров, в силу используемых приемов интерпретации часто искажаются значения характеристик шурфов и, как правило, в сторону завышения. Во-вторых, несмотря на постоянное совершенствование технологии отработки и обогащения россыпей происходят значительные эксплуатационные потери золота, которые особенно увеличиваются при механизации добычных работ. Спрявление неудобной для отработки конфигурации полигонов и шахтных полей, неровности подстилающих коренных пород, оставление охранных целиков, несовершенство средств транспортирования продуктивной породы и концентратов и т. п. также неизбежно приводят к значительным потерям золота. Автору известны десятки объектов, где имели место неотходы золота, которые после внимательного изучения удалось найти.

Если при проходке и оформлении шурфов систематически занижаются запасы золота в россыпях, то возникает вопрос: как свести к минимуму последствия ошибок? Теория ошибок гласит, что когда общий результат нескольких измерений контролируется теоретически, то вычисляют общую ошибку измерения и по определенному правилу ее распределяют в виде отдельных поправок к каждому измерению (например, при измерениях углов треугольника общий результат измерения контролируется тем, что сумма углов равна  $180^\circ$ ). Если же результат нескольких измерений теоретически не контролируется, то установить ошибку можно только путем повторения измерения.

Закономерность количественного распределения минералов в россыпях, установленная нами в середине пятидесятых годов, дает возможность контролировать данные разведки, если они рассматриваются в масштабах всей россыпи или ее значительной части. Данные же небольшого изолированного объекта подсчитанного всего по нескольким шурфам, пока никакими способами не контролируются. В лучшем случае по каким-либо косвенным признакам они могут браться под сомнение. Поэтому обнаружить ошибку при проходке одного или нескольких шурфов можно только путем их дублирования. Однако, поскольку при повторной проходке в свою очередь неизбежно возникают ошибки, то дублированием можно обнаружить только грубые ошибки. Что же касается систематических и случайных ошибок, то первые в этом случае не исключаются, а лишь накапливаются, а вторые усредняются.

При существующей технологии проходки шурфов избежать занижения запасов полезных ископаемых на россыпях практически нельзя. Однако приблизить данные разведки к данным эксплуатации можно, и это достигается двояким путем. Во-первых, при наборе контуров необходимо сверять характеристики

шурфов на планах масштаба 1:2000 с журналами первичной документации. Это позволит избежать ошибок, возникающих за счет механических описок при ежегодных пересчетах запасов. Во-вторых, и это самое главное, эксплуатационникам (геологам, маркшейдерам, горнякам и др.) надо иметь в виду, что при разведке запасы систематически занижаются и более внимательно относиться к россыпям на всех стадиях их отработки.

Добиться полного извлечения золота из недр при эксплуатации россыпей невозможно. Но при грамотной отработке их коэффициент намыва золота можно довести до 1,20—1,25.

## ЗАМЕЧАНИЯ

При рассмотрении вопросов, относящихся к проблеме рациональной постановки разведки на россыпях, было преднамеренно опущено описание ряда особенностей строения россыпей. Большинство особенностей не имеет отношения к проблеме геологии россыпей, но представляет некоторый познавательный интерес и поэтому заслуживает того, чтобы на них остановиться более подробно. Но прежде повторим вкратце основные положения и закономерности, описанные выше.

1. Поведение тяжелых минералов и аллювия в период воздействия на них водотока подчиняется одной закономерности. Перемещение любого сыпучего материала может происходить лишь в том случае, если его суммарный объем больше объема углублений плотика. Концентрации минералов в россыпях никогда не бывают больше объемов углублений плотика, а поэтому они не перемещаются.

2. Вытянутость россыпей по долинам обуславливается не разволакиванием минерала водотоками, а постепенным их высвобождением из перемещаемой жильной породы.

3. Уменьшение крупности минерала вниз по долинам обуславливается не различием скоростей перемещения крупных и мелких фракций, а тем, что для крупных частиц минерала создается больше условий для перехода в свободное состояние, чем для мелких.

4. Тяжелые минералы находятся не только в углублениях, но и в повышенных местах плотика, куда они попадают не в результате переноса водотоками, а вследствие опускания по вертикали в вибрирующем аллювии. Наличие золота в углублениях плотика еще как-то можно объяснить его перемещаемостью, а на возвышенностях («золотых кочках») — нельзя.

5. Постепенное увеличение окатанности минералов вниз по долинам зависит не от дальности переноса в свободном состоянии, а от возрастания мощности водотока. Это было показано автором на ряде россыпей еще в 1957 г. и не вызывало возражений.

6. Существование аллювиальных россыпей с двойными пластами принято объяснять (Билибин, 1956) тем, что по мере нарастания мощности аллювия минералы, смещаемые вниз по течению, начинают отлагаться в верхних горизонтах отложений. Тем не менее в срединных частях долин, где водотоки работают наиболее интенсивно, двойных пластов нами не обнаружено. Они встречаются только в прибортовых частях, где происходит переработка рыхлого материала с участков делювизации. Следовательно, они возникают в результате не вполне эффективного перемива оползающего со склонов обогащенного минералом рыхлого материала. Как правило, концентрация минерала в висячих пластах значительно меньше, чем в пластах, залегающих на коренных породах.

В сороковые годы обогатители Колымы исходя из представления о скачкообразном перемещении сыпучего материала в водотоке, в том числе и золота, пришли к выводу, что для наиболее полного извлечения золота на шлюзах необходимо увеличить число соударений золотин с постелью шлюза. С этой целью было использовано незначительное наполнение шлюза, что повлекло за собой предварительное грохочение песков и отдельное складирование гальки в отвал без промывки. Но, как показала практика, снос золота со шлюзов остался высоким. Кроме того, добавились потери золота в самородках, уходящих в отвалы вместе с галькой.

Исследования показывают, что степень сноса золота находится в прямой зависимости от продолжительности работы шлюза. Например, (Мацуев, 1962) в головной части шлюза длиной 2,5 м после первых 2 ч работы улавливается 81,5% золота, после 4 ч — 78,3%, после 6 ч — 75,6%, после 8 ч — 67,9%, после 12 ч — 64,3%, а после 22 ч — лишь 58,4%. Причиной сноса золота является то, что в ячейках трафаретов по мере работы шлюза постепенно подбираются куски породы определенной величины, которые затем цементируются более мелкими и глинистыми частицами. Поверхность постели шлюза постепенно приобретает волнистое строение и золотины, не находя углублений, начинают скользить по ней. В данном случае в шлюзе создаются условия для перемещения сыпучего материала любой плотности, в том числе и золота.

Многолетние наблюдения за работой шлюза и водотока в русле долины привели автора к убеждению, что уменьшением наполнения шлюза повысить извлечение золота нельзя. В русле долины при любом расходе воды золото не подвергается сносу. Следовательно, дело не в наполнении шлюза. Увеличить извлечение золота со шлюзов можно, приблизив условия их работы к условиям работы водотока в русле долины. А различие условий в шлюзе в русле весьма существенно. В русловом потоке перемещения рыхлого материала в слившемся комковатом состоянии не происходит. Так осуществляется его идеальная

дезинтеграция. Перемещаются только хорошо отмытые гальки. В шлюзе же, несмотря на предварительную дезинтеграцию, некоторая часть породы остается в комковатом состоянии, с ней сносятся и золото. В долинах лишь изредка возникают потоки селевого типа, которые вместе с породой могли бы перемещать и золото. В шлюзе же при определенных соотношениях между жидкой и твердой средами возникают грязевые потоки, приводящие к сносу золота.

В одной из статей (Бондаренко, 1960) было высказано предположение о целесообразности ведения промывочных работ с неограниченным наполнением шлюза и пропусканием через него породы без разделения на фракции. При этом имелось в виду, что крупные фракции, проходя через шлюз, будут беспорядочно бомбардировать его постель и тем самым создавать условия для непрерывной его вибрации. Первоначально это предложение не получило поддержки обогатителей. Больше того, предложенный Д. Н. Шевцовым в 1960 г. гидроэлеваторный способ промывки, основанный на пропускании через шлюз крупной фракции, из-за опасения большого сноса золота был тоже забракован обогатителями. Но эксплуатация опытных установок данной конструкции показала, что, несмотря на одноразовый съем с них золота в сутки (вместо двухразового на скрубберных приборах), снос его оказался даже ниже, чем на промприборах. Было опровергнуто представление обогатителей (Мацуев, 1958, 1962 и др.) о существовании зависимости между размерами сносимых зерен тяжелых минералов и кусками пропускаемой через шлюз породы.

На несостоятельность этой теории указывал еще Б. В. Невский (1947). Он обратил внимание на то, что в шлюзе улавливаются частицы золота размером 73 мк, а валуны диаметром до 500 мм сносятся в хвосты.

Так как трудно создать полную аналогию условий в шлюзе и водотоке русла долины, то стопроцентного извлечения золота со шлюзов, по-видимому, достичь не удастся. Однако повысить этот показатель можно. Существенную роль может сыграть порожистое армирование шлюзов, предложенное и опробованное автором в 1963 г. на одном из гидроэлеваторов прииска «Мальдяк». Армирование очень проста и внедрение ее в практику не требует переделки промывочных устройств. Суть ее такова. Проносимые через шлюз крупные куски породы поддерживают его постель в возбужденном состоянии, однако за 20 ч непрерывной работы ячейки трафаретов подвергаются заливанию и цементации. Следовательно, необходимо предотвратить цементацию постели в шлюзе. Для этого можно использовать металлические порожки высотой 12—15 см, установленные сверху трафаретов через 5—6 м. Перед порожками под действием энергии потока рыхлый материал постоянно поддерживается в возбужденном состоянии. К сожалению, автору не удалось произвести

необходимых количественных измерений, на основе которых можно говорить об эффективности данной схемы обогащения.

В геологии россыпей выделяются как самостоятельный вид косовые россыпи, располагающиеся на песчано-галечных островах, косах, отмелях рек. Ширина таких россыпей, по определению некоторых геологов (Рожков, 1967), иногда достигает 500—600 м, а протяженность — нескольких километров. Ю. А. Билибин (1956, стр. 221), говоря о природе возникновения косовых россыпей золота, писал, что «...процесс образования частиц косового материала является универсальным и происходит в любой россыпи при ее перемыве... Косовый металл образует самостоятельные россыпи, пространственно отделенные от основных россыпей и располагающиеся ниже по течению».

Автору за много лет исследования колымских аллювиальных россыпей не удалось обнаружить ни у одной из них никаких пространственно отделенных косовых россыпей. Это дает основание утверждать, что на Колыме их нет. Поскольку генезис и строение аллювиальных россыпей везде одинаковы, можно считать, что косовых россыпей вообще не существует.

Заканчивая рассмотрение вопросов, относящихся к поведению тяжелых минералов в русловом потоке и накоплению их в отложениях долин, уместно остановиться на одной стороне изучения россыпей.

Россыпи принято классифицировать по генезису, морфологии, возрасту и т. п. Ю. А. Билибин (1956), например, подразделяет их на русловые, долинные, террасовые, сложные (два или более продуктивных пласта в вертикальном разрезе), россыпи распадков, косовые и погребенные. Позже другие геологи (Шило, 1958; Хрипков, 1958; Карташов, 1966; Рожков, 1967) добавили к ним карстовые, плащевидные, ложковые, линзовидные, струйчатые, водораздельные, ленточные, старичные, изометрические, четковидные, шнуровидные, террасоувальные и др. Причем считается, что россыпи, залегающие на самых высоких уровнях долин, более древние, чем залегающие на более низких уровнях долин.

Автор считает, что генетических типов россыпей всего три: элювиальные, делювиальные и аллювиальные. Прибрежные россыпи в сущности являются элювиальными россыпями или затопленными аллювиальными. В свою очередь русловые, пойменные, долинные, террасовые и т. п. россыпи есть аллювиальные россыпи, приуроченные к различным элементам долин. Россыпи, залегающие на разных уровнях долин, соединенных между собой участками делювизации, являются не самостоятельными россыпями, а их составными частями, и возраст их, разумеется, одинаков. Если началом возникновения россыпи считать переход минерала из жильной породы в свобод-

ное состояние, то опускание ее частей на более низкие уровни в процессе эрозионной деятельности водотоков не является отмиранием, а затем возникновением новых россыпей. Это пространственные изменения россыпи. В долинах, где россыпи располагаются на различных уровнях, их возраст следует определять по самой высокой террасе.

Приуроченность россыпей к тем или иным элементам морфологии долины, особенности строения плотика, состава и мощности рыхлых отложений и т. п. могут обусловить различную технологию разведки и отработки россыпей, но не влияют на количество накапливаемого в них минерала. Поэтому данные особенности следует учитывать лишь как необходимые признаки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Билибин Ю. А. Основы геологии россыпей. М., Изд-во АН СССР, 1956, 463 с.
- Билибин Ю. А. О механизме образования аллювиальных россыпей. Избранные труды, т. II. М., Изд-во АН СССР, 1959, с. 203—216.
- Богацкий В. В. Математический анализ разведочной сети. М., Госгеолтехиздат, 1963, 212 с.
- Божинский А. П., Каллистов И. Л. и др. Методы разведки и подсчеты запасов россыпей.—Труды ЦНИГРИ, 1965, вып. 65.
- Бондаренко Н. Г. Некоторые вопросы геологии россыпей. Магадан, 1957, 60 с.
- Бондаренко Н. Г. Недостатки существующей схемы обогащения россыпей и пути ее совершенствования.—«Колыма», 1960, № 5, с. 7—8.
- Горбунов Е. З. Закономерности распределения золота в аллювиальных россыпях и их практическое значение при поисках.—В кн.: Геология россыпей. М., «Наука», 1965, 141 с.
- Ерофеев Б. Н., Коньчев М. И. О брошюре Н. Г. Бондаренко «Некоторые вопросы геологии россыпей».—«Колыма», 1958, № 5, с. 47.
- Имшенецкий А. И. Об экспериментальном изучении зависимости между данными скоростей течения и величиной транспортируемых обломков различного удельного веса.—Труды ВИМС, 1960, вып. 1, с. 205—214.
- Карташов И. П. Оценка влияния геоморфологических условий при поисках аллювиальных россыпей.—«Разведка и охрана недр», 1966, № 9, с. 6—11.
- Кемниц В. В. Теория ошибок измерений. М., «Недра», 1967, 112 с.
- Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., «Недра», 1969.
- Кухаренко А. А. Минералогия россыпей. М., Госгеолтехиздат, 1963.
- Ли Л. В. Антропогенные россыпи золота бассейна правобережья Верхней Колымы, закономерность их размещения и условия образования.—В кн.: Геология россыпей. М., «Наука», 1965, с. 131—140.
- Ляхницкий В. М. Рецензия на книгу Н. Г. Бондаренко «Некоторые вопросы геологии россыпей».—«Советская геология», 1959, № 6, с. 127—129.
- Лященко Н. В. Гравитационные методы обогащения. Госстройиздат, 1940, с. 360.
- Мацуев П. В. Расчет и эксплуатация промприборов. Магадан, 1958, 185 с.
- Мацуев П. В. Технологические возможности гидроэлеваторов и способы улучшения их работы.—«Колыма», 1962, № 4, с. 5—9.
- Невский Б. В. Обогащение россыпей. Металлургиздат, 1947.
- Обручев В. А. Как образовались богатые россыпи Ленского района.—В кн. «Мои путешествия по Сибири». М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 85—90.
- Петров П. А. О брошюре Н. Г. Бондаренко «Некоторые вопросы геологии россыпей».—«Колыма», 1958, № 1, с. 47.
- Рожков И. С. О некоторых теоретических вопросах геологии россыпей.—«Колыма», 1959, № 2, с. 44—48.
- Рожков И. С. Условия формирования и типы золотоносных россыпей.—Труды ЦНИГРИ, 1967, вып. 76, с. 149—169.

Рыжов В. В. О чертах сходства в строении аллювиальных россыпей горного хрусталя, касситерита и золота.— Труды ЦНИИГРИ, 1968, вып. 79, с. 320—324.

Синюгина Е. Я., Лапин С. С. Распределение золота в аллювиальных россыпях.— Труды ЦНИИГРИ, 1967, вып. 76, с. 189—202.

Трофимов В. С. Закономерности размещения и образования алмазных месторождений. М., «Недра», 1967, с. 299.

Хрипков А. В. Распределение золота в россыпях Северо-Востока и густота поисковой сети. Магадан, 1958, 56 с.

Хусаинов М. А. Новая жизнь «Мальдяка».— «Магаданская правда», № 205 от 20/VIII 1960 г.

Шанцер Е. В. Генетические фации континентальных отложений и типы россыпей.— В кн.: Геология россыпей. М., «Наука», 1965.

Шило Н. А. Некоторые принципы классификации россыпей. Магадан, 1958, 21 с.

Шило Н. А., Драбкин И. Е. и др. Принципы и методы прогнозирования россыпей золотоносности.— В кн.: Проблемы геологии россыпей. Магадан, 1970, с. 38—48.

Яворовский П. К. Геологические условия образования некоторых золотых россыпей.— «Горный журнал», 1896, т. 1, № 3.

38 коп.

1217

НЕДРА