

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
Географический факультет

О.В. Виноградова, Н.В. Хмелева

**РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И ФОРМИРОВАНИЕ  
АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ ЗОЛОТА**

Москва  
2009 г.

***Посвящается***

*100-летию со дня рождения  
профессора Николая Ивановича Маккавеева,  
инициатора и идейного вдохновителя исследований,*

*40-летию созданной им Научно-исследовательской  
лаборатории эрозии почв и русловых процессов  
им. Н.И. Маккавеева*

*и*

*70-летию Географического факультета МГУ*

УДК 551.435.11+553.411.3

**Виноградова О.В., Хмелева Н.В. Русловые процессы и формирование аллювиальных россыпей золота. М.: МГУ, 2009. – 171 с.**

**ISBN 978-5-89575-151-0**

В книге рассматриваются закономерности формирования аллювиальных россыпей золота, обусловленные деятельностью русловых процессов. Изложены основы генетического метода анализа строения россыпей, базирующегося на рассмотрении структуры россыпи как совокупности генетических концентраций золота, формирующихся русловым потоком в различных фациальных условиях. Даны основные принципы прогноза россыпей, золотоносности притоков и локализации коренных источников в бассейнах долин. Рассматривается проблема влияния отработок россыпей на русловые процессы россыпесодержащих долин.

Рассчитана на геоморфологов, специалистов в области изучения аллювиальных россыпей, геологов приисков и разведочных партий.

Публикуется по постановлению Межвузовского научно-координационного совета по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов при МГУ

Выполнено по гранту президента РФ (проект НШ-790.2008.5) для ведущих научных школ.

Рецензенты:

Доктор геолого-минералогических наук, профессор *А.А. Чистяков*  
Кандидат географических наук, доцент *И.С. Воскресенский*

**ISBN 978-5-89575-151-0** © Научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева  
© Географический факультет МГУ  
© Коллектив авторов

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая вниманию читателей монография «Русловые процессы и формирование аллювиальных россыпей золота» является обобщением результатов исследований аллювиального россыпеобразования как производной русловых процессов. Инициатором этих исследований почти 40 лет назад был Николай Иванович Маккавеев, который впервые предложил применить теорию русловых процессов к объяснению механизма формирования скоплений полезного компонента – россыпей, поставив тем самым их поиски и разведку на строго научную физическую основу. Конечно, попытки объяснить россыпи деятельностью водных потоков были и раньше. Достаточно назвать имена Ю.А. Билибина, И.П. Карташова, других геологов-россыпников, но в их трудах преобладал, с одной стороны, интуитивный подход, основанный на данных наблюдений и глубочайшем владении материалом, а, с другой, трактовкой от противного: не от механизма формирования россыпи и ее строения, а, наоборот, от имеющихся сведений к объяснению, почему это так.

Основная идея созданного Н.И. Маккавеева направления заключается в изучении механизма образования россыпей как составной части транспорта и аккумуляции наносов и использовании закономерностей формирования речных отложений русловыми потоками для понимания структуры россыпи. Эта идея Николая Ивановича оказалась плодотворной и имеет большое практическое значение, позволяя давать прогнозные оценки положения россыпей и их строения.

Воплощением идей Н. И. Маккавеева в жизнь руководила Наталия Владимировна Хмелева, энергия и организаторские способности которой позволили провести уникальные эксперименты по исследованию особенностей перемещения частиц тяжелых металлов в русловом потоке, организовать натурные исследования в отдаленных россыпных районах Восточной Сибири, обеспечить сбор и анализ геологоразведочных материалов. Н. В. Хмелева была научным руководителем исследований. Ее беззаветная преданность науке, творческий ум, талант организатора способствовали дальнейшему развитию уникального направления в пограничной области науки о россыпях и учения о русловых процессах. К сожалению, Наталия Владимировна не дожила до завершения и издания книги. Смерть оборвала ее творческие планы. Большой труд на завершающем этапе создания монографии взяла на себя О.В. Виноградова, которая, будучи на протяжении многих лет ответственным исполнителем исследований, руководила полевыми работами и многое сделала как для получения и обобщения данных, так и для разработки представлений о механизме формирования россыпей. О.В. Виноградова скомпоновала ряд глав, написанных Н.В. Хмелевой, довела то, что она не успела завершить, до литературного варианта. Многие главы монографии написаны О.В. Виноградовой самостоятельно. Работа много лет вместе, Н.В. Хмелева и О.В. Виноградова опубликовали в соав-

торстве большое число статей в престижных журналах и сборниках, выступали с совместными докладами на многочисленных совещаниях и конференциях, защищали отчеты в геологических организациях по хозяйственным темам.

Большой объем фактического материала, теоретические разработки по отдельным вопросам формирования россыпей, необходимость сопоставления результатов экспериментальных и полевых исследований, разработанные методология и методика генетического анализа россыпей определили идею и структуру монографии как всестороннего обобщения результатов исследований и создания концепции формирования россыпей русловыми потоками.

Книга выходит в свет. Она продолжает творческую жизнь Н.В. Хмелевой и является памятью о ней как о человеке, беззаветно преданном науке, посвятившем свою жизнь исследованию эрозионных и русловых процессов, развитию экспериментального метода в геоморфологии. И одним из ее наиболее важных достижений является разработанные вместе со своими коллегами и учениками, в первую очередь с Ольгой Васильевной Виноградовой, методология и практика россыпного русловедения

*Профессор Р.С. Чалов*

## ВВЕДЕНИЕ

Выявление закономерностей строения и изучение механизма образования аллювиальных россыпей полезного компонента, в том числе золота является основой их эффективной разведки и эксплуатации. Изучение россыпей началось практически с их открытия и к середине XX века выделилось в отдельный раздел науки, включающий в себя многие направления. Одним из них является изучение россыпей, как результата деятельности рельефообразующих процессов. К настоящему времени многие вопросы формирования россыпей детально изучены, и результаты исследований широко применяются в практике геологоразведочных работ.

Зависимость распределения тяжелой фракции аллювия от русловых процессов является общепризнанным фактом. Частицы золота, являясь одной из составляющих тяжелой фракции аллювия, подчиняются общим закономерностям транспорта и аккумуляции наносов, что отражается в характере их распределении в россыпи. В какой-то мере это положение учитывается при разведке россыпных месторождений золота. Некоторые частные рекомендации по этому вопросу имеются в официальных инструкциях и методиках по проведению геологоразведочных работ [Методика разведки..., 1992]. Опытные старатели, не имеющие специального образования, опираясь на свой опыт, интуитивно чувствуют на каких участках долин надо искать обогащенные участки россыпи. Однако используемые при этом закономерности имеют эмпирический и несистематический характер, отражая лишь отдельные стороны проблемы. Концепция формирования внутренней структуры россыпи, как результата русловых процессов, переноса и отложения частиц золота в процессе транспорта наносов, до настоящего времени является практически неразработанной. В предлагаемой монографии изложен принципиально новый подход к формированию россыпи, как составной части транспорта и аккумуляции наносов, а структура россыпи рассматривается с позиций механизма ее образования русловым потоком. В то же время учет механизма формирования наносов русловым потоком дал возможность расширить и углубить представления об особенностях русловых процессов на небольших горных реках, которые являются одним из наименее изученных звеньев гидросети. Тяжелая фракция аллювия, в частности частицы золота, в силу своего большого удельного веса, является индикатором путей транспорта наносов, а ее распределение отражает условия образования и динамику форм русла и руслового рельефа. При исследовании россыпей в погребенных долинах, где их формирование осуществлялось в течение нескольких геологических эпох, представилась возможность проанализировать устойчивость русел, унаследованность их типов и влияние отдельных факторов на русловые процессы на протяжении всей истории формирования долин. Эти результаты позволяют дать палеорусловые характеристики рек времени формирования россыпей.

Инициатором исследований, результаты которых изложены в монографии, был профессор Н.И. Маккавеев, впервые выдвинувший понятие о

россыпесодержащих комплексах аллювия, закономерности формирования которых подчиняются деятельности русловых потоков. По его инициативе в Научно - исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева Географического факультета МГУ проводятся изучение строения природных россыпей и экспериментальные исследования механизма их образования. Эксперименты проводились в лаборатории Экспериментальной геоморфологии МГУ на лотках, имитирующих естественное русло. Уникальность экспериментов определяется тем, что русловой поток в лотке формировал россыпь из частиц тяжелых металлов, а в некоторых опытах непосредственно из частиц россыпного золота. Изменение гидродинамических параметров потока, крупности наносов, создание искусственных форм русла и рельефа «скального» ложа в опытах разных серий позволило выявить влияние различных факторов на механизм формирования россыпей.

Изучение природных россыпей проводилось в трех крупных рудно-россыпных районах Восточной Сибири: Алданском, Куларском и Ленском. Каждый из этих районов характеризуется специфическими геолого-геоморфологическими особенностями строения и развития. Исследованиями охвачено более 100 россыпесодержащих долин – от соответствующих небольшим коротким притокам I-II порядков до крупных полугорных рек V-VII порядков протяженностью более 100 км. Исследуемые россыпи относятся к пластовому типу. Они сформировались при врезании рек и представлены ленточными залежами, приуроченными к русловой и плотиковой фациям аллювия. Россыпи являются мелкозалегающими, сформированными в современных долинах (Алданский район), погребенными в долинах с унаследованным развитием (Ленский район) и сформированными в долинах древней гидросети, полностью перекрытой мощной толщей рыхлых отложений (Куларский район). Различия в условиях формирования и залегания россыпей, а также привлечение результатов экспериментальных исследований позволили выявить наиболее существенные закономерности их формирования, обусловленные русловыми процессами, свойственные, по-видимому, большинству аллювиальных россыпей золота. Эти закономерности, а также механизм формирования внутренней структуры россыпей под действием различных факторов, отражающих характер русловых процессов и транспорта наносов, являются одной из проблем русловых процессов на горных реках.

На основе выявленных закономерностей формирования россыпей и результатов экспериментальных исследований разработан генетический метод анализа их строения. Основная цель метода – получить максимально достоверное представление о строении каждой конкретной россыпи в процессе ее поиска, разведки и эксплуатации. Сущность метода состоит в изучении трехмерной модели россыпи по полученным в процессе разведки материалам, определении генезиса неоднородных по характеру распределения золота участков и прогнозировании строения россыпи на неразведанных участках долин и на участках, расположенных между поисковыми и разведочными линиями. Учет генезиса концентраций имеет большое практическое значение при про-

ведении разведочных работ. В настоящее время контуры россыпей, как правило, определяются по кондиционным (т.е. принятым в настоящий момент рентабельным для отработки) содержаниям золота. При этом в блоки подсчета запасов нередко объединяются участки, имеющие различный генезис, между которыми строение россыпи и ее запасы могут значительно меняться. Без учета генезиса подсеченных разведочными линиями неоднородных участков россыпей могут быть допущены серьезные ошибки, приводящие к значительным расхождениям подсчитанных и действительных запасов. Формальный подход ведет, в одних случаях – к потере металла в недрах, а в других – к нерентабельной переработке больших объемов пустых пород. Применение метода в процессе геологоразведочных работ позволяет более точно провести экстраполяцию полученных данных для оконтуривания россыпей и повысить точность подсчета запасов.

На основе анализа структуры россыпи метод дает возможность выявить участки поступления золота в долину и прогнозировать местоположения коренных источников, питающих россыпи. Применение метода имеет особенно большое значение при поиске и разведке погребенных россыпей, особенно россыпей погребенной сети, для которых разведочные материалы являются практически единственной информацией об их строении. В этом случае метод позволяет прогнозировать продуктивность и строение россыпей, определить положение устьевых зон палеопритоков и дать прогнозную оценку их металлоносности. Преимущество метода состоит в том, что его применение основано на анализе геологоразведочных материалов, полученных при поиске, разведке и эксплуатационном опробовании, и не требует привлечения каких либо других материалов и проведения дополнительных дорогостоящих анализов.

Метод апробировался при проведении договорных работ с геологоразведочными партиями в районах исследований и объединением "Лензолото". Большинство рекомендаций, данных при применении генетического метода анализа россыпей, были включены в проекты геологоразведочных работ. Многие из них дали положительные результаты, позволив получить значительный прирост запасов золота, выявить россыпи притоков и определить участки, перспективные на поиск коренных источников.

Исследования проводились под руководством Н.В. Хмелевой, которая вместе с О.В. Виноградской является автором настоящей монографии. На протяжении всего периода исследований, начавшихся в 1967 году, изучением проблемы связи строения россыпей с русловыми процессами занимался ряд сотрудников Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева: кандидаты геолого-минералогических наук Н.П. Григорьев и В.М. Шепелев, кандидаты географических наук, А.М. Калинин и Л.В. Маорс, а также В.И. Баракова, С.С. Головенко, О.А.Елисеева, Л.Г. Ивочкина, и С.М. Сысоева. Их разработки по отдельным вопросам вошли в монографию.



## ГЛАВА I

### СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ФОРМИРОВАНИИ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ ЗОЛОТА

Изучение процесса россыпеобразования в долинах горных рек началось с момента их массового освоения и охватывает широкий круг вопросов, связанных с конкретными практическими задачами – разработкой наиболее эффективных методов поиска и разведки россыпных месторождений. Теоретические основы учения о россыпеобразовании были заложены Ю.А. Билибиным [1938], который рассматривал россыпь как результат деятельности рек и связывал закономерности распределения золота и строения металлоносного пласта с динамикой речного потока и характером переноса им частиц полезного компонента. Ю.А. Билибиным была установлена зависимость дальности переноса частиц от их веса, выделены два типа россыпных скоплений золота – пластового, состоящего из частиц, перемещавшихся в потоке путем волочения по дну, и косового, включающего мелкие частицы, транспортируемых во взвешенном состоянии. Возможность перемещения частиц золота водным потоком и связь строения россыпи с русловыми процессами были показаны в это же время в работе М.И. Львовича [1938]. Эта концепция получила широкое развитие. М.В. Пиотровский и Е.Я. Синюгина [1959] определили ее как одно из основных направлений в науке о россыпях и подчеркивали актуальность изучения механизма переноса и отложения минералов одновременно и совместно специалистами по россыпям и гидрологами. Несмотря на это, в середине прошлого столетия получила развитие концепция ограниченного перемещения золота в свободном состоянии [Бондаренко, 1957, 1975; Шилов, Котылев, 1949]. Процесс формирования россыпей эти исследователи связывали с постепенным освобождением частиц золота от кварца в процессе переноса гальки водным потоком. Случайность этого процесса ставила под сомнение возможность выявления общих закономерностей строения россыпей. Это представление вызвало оживленную дискуссию. Большинство исследователей россыпей поддержали позицию Ю.А. Билибина и его последователей. Для доказательства возможности переноса частиц золота в русловом потоке приводились следующие аргументы: интенсивное освобождение частиц золота в элювиальную и делювиальную стадии формирования россыпей и их поступление в реки в свободном состоянии; неравномерное распределение продуктивности россыпи вдоль течения, обусловленное различными гидродинамическими условиями; наблюдения за непосредственным перемещением частиц в водной среде во взвешенном состоянии и путем волочения [Воробьев, Колесов, 1975; Горбунов, 1959; Дик, 1975; Карташов, 1959; Ляхницкий, 1959; Прокуронов, 1975; Скрябин, 1975]. И.С. Рожков [1979] описал случай резкого изменения контура россыпи после паводка. И.П. Карташов [1963] установил связь особенностей строения россыпей с динамическими фазами формирования аллювия.

Возможность переноса золота водным потоком подтверждают результаты экспериментальных исследований. Е.И. Тищенко [1966] наблюдал во время паводка при скоростях течения 1-1,2 м/с смещение крупных частиц металла по дну установленного им в реке деревянного лотка. В опытах по переносу свободного золота, проведенных С.Г. Желниным и Ю.В. Шумиловым [1975] в лабораторных условиях, смещение мелких и средних частиц диаметром до 2 мм происходило при скорости течения 0,4 м/с. При увеличении скоростей начинали двигаться частицы металла всех фракций путем волочения по дну, пульсирующего смещения или быстрого перемещения с контрольного участка. Шероховатость ложа существенно снижала подвижность частиц. Так как скорости потока в лабораторных условиях не превышали 1,5 м/с, что не является пределом для горных и полугорных рек, результаты экспериментов свидетельствовали о возможности переноса золота русловыми потоками.

Широкое развитие при доказательстве возможности свободного перемещения золота получили расчетные методы. Расчеты, проведенные А.В.Хрипковым [1958], показали, что скорость потока, при которой происходит смещение частиц золота диаметром до 0,5 мм, составляет около 3 м/с. В зависимости от способности металла к переносу в водной среде он выделил активные и пассивные фракции золота. По данным А.В. Дитмара [1968] для перемещения частиц золота диаметром 3 мм скорость потока должна быть больше 1 м/с.

Промежуточную позицию занимают результаты исследований Ю.Н. Трушкова и Э.Д. Избекова [Трушков и др., 1975; Избеков, 1985], которые рассматривают россыпь как проекцию коренного источника в долину, а дальность смещения частиц связывают с их гидравлической крупностью и скоростями потока. И если последнее вполне справедливо и является отражением разработанных в динамике русловых потоков законов движения наносов, то первое представляет упрощенную модель россыпеобразования, в которой рассматриваются лишь некоторые частные случаи и не полностью учитывается роль русловых процессов в транспорте, накоплении и переотложении частиц золота. При непосредственном размыве коренного источника в бортах или в днище долины россыпь, сформировавшуюся за один эрозионный цикл, действительно можно рассматривать как проекцию коренного источника. Однако большинство россыпей сформировано из частиц золота, прошедших элювиальную и делювиальную стадии формирования и испытавших неоднократное переотложение в процессе врезания реки. Известны примеры полного отрыва промышленных россыпей от коренных источников.

К настоящему времени большинство исследователей, занимающихся вопросами россыпеобразования, исходят из предпосылок возможности переноса частиц золота водным потоком и рассматривают эти частицы как один из компонентов тяжелой фракции аллювия. Из-за повышенного удельного веса частицы тяжелых металлов обладают большой гидравлической крупностью, что обуславливает определенную специфику их транспорта и

аккумуляции, связанную с гидравлической сортировкой частиц. При продольном смещении наносов для частиц золота характерна тенденция к быстрому проникновению в нижнюю часть транспортируемого слоя и отставанию от частиц аллювия, представленных легкими минералами. [Лазаренко, 1964; Лунев, 1967; Михайлова, 1966; Ишменицкий, 1959; Шило, Шумилов, 1976; Нестеренко, 1977]. Несмотря на это, существуют общие закономерности транспорта, аккумуляции и дифференциации наносов, включая тяжелую фракцию, что подтверждено многочисленными исследованиями связи строения россыпей с динамикой потока. На основании этого положения особенности строения россыпей рассматриваются в зависимости от порядков и морфометрических характеристик долин [Нифонтов, 1937; Билибин, 1938; Красков, Лобанов, 1973; Гольдфарб, Генкин, 1970; Генкин, 1972; Синюгина, 1976; Геология россыпей золота Северо-Востока СССР, 1979].

Установленные закономерности широко используются в практике поисковых и разведочных работ, являясь основой для определения способа разведки и густоты разведочной сети. Вместе с тем порядок долин является лишь косвенным показателем гидродинамических условий. Кроме того, помимо гидродинамических условий, особенности формирования наносов, в том числе и тяжелой фракции, определяются характером руслового процесса, морфодинамическим типом русла, сложными условиями формирования наносов в узлах слияния притоков с основной рекой, рельефом коренного ложа. Эти факторы в значительной степени определяют закономерности распределения частиц золота в пределах россыпи. До настоящего времени их роль в формировании внутренней структуры россыпи практически не оценена. Кроме того, установленные ранее зависимости отдельных характеристик россыпей (изменение продуктивности, мощности золотоносного пласта, крупности частиц золота) от порядка рек не объясняли причинно-следственные связи между ними и механизмом их образования. При установлении зависимостей отдельных характеристик россыпей от порядка долины в большинстве случаев использовался статистический метод.

Процесс формирования россыпей можно рассматривать как один из вопросов формирования наносов в русле и при анализе строения россыпей учитывать весь комплекс факторов, обуславливающий механизм россыпеобразования водными потоками. В настоящее время имеются достаточно глубокие разработки, касающиеся распределения тяжелой фракции аллювия в зависимости от деятельности русловых потоков. Особенности дифференциации и концентрации мелких ценных минералов в долинных отложениях крупных рек занимается пермская школа исследователей процессов россыпеобразования [Лунев, 1967; Осовецкий, 1986]. Глубокий анализ этой проблемы проведен А.А. Чистяковым [1978], который рассмотрел формирование концентраций тяжелой фракции с позиций фациального подхода и выделил концентрации, сформированные в руслах различного морфодинамического типа, и подтипы концентраций, сформированные в стречневой зоне, на перекатах, в западинах и эрозионных котлах. Закономерности рас-

пределения тяжелой фракции в зависимости от различных морфологических особенностей и форм русла установлены экспериментальными методами [Разумихин, Тимашкова, 1960]. О необходимости изучения особенностей концентрации россыпных минералов в аллювиальных россыпях на основе фациально-литогенетического анализа аллювия говорилось на последнем международном совещании «Россыпи и месторождения кор выветривания» [Шило и др., 2005].

Особенности русловых процессов во многом определяют формирование тех или иных фаций аллювия. Частицы золота являются одним из компонентов тяжелой фракции аллювия, но так как пластовые россыпи в основном являются объектом изучения геологической науки, исследования закономерностей их строения в зависимости от русловых процессов имели несистематический характер и практически не используются при проведении геологоразведочных работ.

## ГЛАВА 2

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ ЗОЛОТА

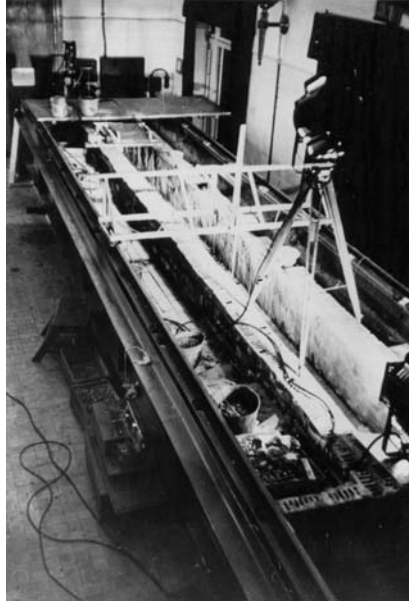
#### 2.1. Методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования механизма формирования аллювиальных россыпей проводились в лаборатории Экспериментальной геоморфологии МГУ с 1967 года. В течение нескольких десятков лет были поставлены опыты по изучению влияния различных факторов на процесс россыпеобразования. Результаты опытов, проведенных в течение первых десяти лет исследований, были опубликованы в двух сборниках [Экспериментальная геоморфология, 1969, 1978]. Обобщение результатов экспериментальных исследований, проведенных в течение всего периода изучения россыпей, позволило выявить наиболее существенные закономерности механизма россыпеобразования в зависимости от ряда факторов.

Опыты ставились по принципу свободного моделирования, заключающегося в создании на моделях определенного сочетания факторов, в соответствии с которыми поток осуществлял транспорт наносов и формировал россыпь. В основу моделирования положено условие подобия параметров природных россыпей и россыпей, формирующихся на модели. Для постановки опытов использовался лоток длиной 12 м (рабочая часть 9 м) и шириной 0,5 м (рис. 1). Уклон дна лотка с помощью подъемника, установленного у его верхнего конца, мог меняться от 0,001 до 0,4. Изменение расхода обеспечивалось количеством и интенсивностью подачи воды. Лоток кончался приемным бассейном размером 2х2 м, в котором формировалась дельта. Уровень бассейна изменялся, что позволяло воспроизводить колебания базиса эрозии водотока на модели. Оборудование лотка позволяло проводить измерение плановых и высотных характеристик рельефа, формирующегося на модели, контролировать изменение положения тальвегов, побочней и других русловых форм, а также динамику роста дельты.

При проведении некоторых опытов использовались дождевальная установка (рис. 2). Она представляет собой лоток длиной 1,8 м и шириной 1,2 м. В днище равномерно по всей длине его поверхности через каждые 10 см просверлены отверстия диаметром 0,5 см для воды, фильтрующейся через толщу грунта. Лоток снабжен подъемным устройством, позволяющим изменить угол его наклона от 1 до 13°. Дождевание обеспечивалось двумя водоподводящими трубами, передвигающимися в горизонтальном направлении с 7 разбрызгивателями на каждой, расположенными на расстоянии 20 см друг от друга.

При проведении опытов использовалось несколько видов минералов, имитирующих частицы золота, которые отличались друг от друга по удельному весу: кварц – 2,5-2,8 г/см<sup>3</sup>; ильменит – 4,8 г/см<sup>3</sup>; пирит – 4,9-5,2 г/см<sup>3</sup>;



**Рис. 1.** Русловой лоток.



**Рис. 2.** Дождевальная установка.

свинец – 11,3 г/см<sup>3</sup>; магнетит – 4,9-5,2 г/см<sup>3</sup>; кассетерит – 6,8-7,1 г/см<sup>3</sup>. В некоторых экспериментах использовалось шлиховое золото (удельный вес – 16,1-19,3 г/см<sup>3</sup>). В зависимости от типа используемого минерала применялись различные приемы извлечения полезного компонента из аллювия сформированной россыпи. Крупные обломки кварца, имеющие в поперечнике размер 2,4-6,0 см и соответственно вес 10,3-130 мг и частицы свинца размером от 1 до 10 мм отбирались вручную после отсеивания песчаной фракции. Ильменит и магнетит, представленный фракциями от 1-2 до 0,25-0,5 мм, отбирался из проб при помощи магнита и под бинокулярным микроскопом. Золото промывалось на промывочном лотке с последующей отдувкой (сдуванием относительно легких минералов). Опробование экспериментальной россыпи в одних случаях велось на различных стадиях ее формирования, в других – в конце опыта.

Подсчет запасов сформированной россыпи проводился как по точечным пробам, так и по извлеченному на отдельных участках металлу в соответствии с принятой в практике геологоразведочных работ методикой. По этим данным строились графики изменения запасов металла, позволяющие судить о перераспределении тяжелых частиц. Результаты опытов оценивались также по значениям продуктивности россыпи – показателю, характеризующему количество металла, отложившемуся на участке определенной протяженности. Для сформированных при проведении опытов россыпей определялся центр тяжести россыпи ( $m$ ), характеризующий положение максимума запасов металла. Он рассчитывался по формуле:

$$m = \frac{l_1q_1 + l_2q_2 + \dots + l_nq_n}{100}, \quad (1)$$

где  $l$  – расстояние каждого из участков опробования от источника питания;  $q$  – относительное количество полезного компонента (в процентах от общего веса частиц полезного компонента).

Дальность смещения частиц разных фракций относительно участка поступления определялась средневзвешенным значением их пути, рассчитанным для каждой разновидности частиц, выделяемых по весу и форме. Этот показатель характеризует положение максимумов накопления частиц каждой фракции и, соответственно, оптимальные условия их накопления. Для определения значения этого показателя использовалась та же формула (1), что и для центра тяжести россыпи, но расчет проводился по каждой фракции в отдельности. Результаты опытов оценивались по дальности сноса отдельных фракций золота и характеру кривых накопления металла.

В некоторых опытах сформированная россыпь подразделялась по вертикальному разрезу на горизонты. Для определения характера распределения частиц тяжелой фракции в разрезе аллювия сформированной россыпи проводилось последовательное их извлечение из каждого горизонта, и строились графики (эпюры) распределения содержаний по вертикали разреза.

При проведении ряда опытов использовалась замедленная кино-съемка, позволяющая визуально проследить смещение частиц. В других опытах для оценки результатов проводилось опробование сформированной россыпи.

Эксперименты проводились параллельно с исследованиями природных россыпей, что позволяло оперативно задавать цели и задачи опытов в соответствии с вопросами, возникающими при исследовании природных объектов. По тематике опыты можно разделить на серии, в каждой из которых изучалось влияние одного из факторов, обуславливающих формирование россыпей.

## **2.2. Механизм перемещения россыпеобразующих минералов по склонам долин**

*Смещение крупных обломков по склону в результате аблювиального эффекта.* При разведке и эксплуатации аллювиальных россыпей золота во многих россыпных районах встречаются самородки – крупные агрегаты, величина которых определяется массой в граммах и даже килограммах. Находки самородков в долинах на большом расстоянии от коренных источников, а также их отсутствие в рудных жилах в свое время дали повод для возникновения теории химического переноса золота в россыпях. Согласно этой теории, грунтовые воды растворяют золото, которое поступает в долину. При соответствующих условиях золото вновь выделяется из растворов. Одно время некоторые геологи считали, что таким образом образуется большая часть россыпного золота. Найденные впоследствии крупные самородки непосредственно в жилах, а также установление связи крупности и частоты встречаемости самородков со средней крупностью золота в россыпях сделали очевидной несостоятельность утверждений о химическом генезисе самородков. По существующим в настоящее время представлениям самородки попадают в долины при разрушении коренных источников вместе с делювиальными отложениями, а затем перемещаются водными потоками на значительные расстояния от коренных источников [Петровская, 1993; Самусиков, 2005].

Проведенные эксперименты позволили выявить некоторые закономерности механизма смещения крупных обломков по склону и роль временных русловых потоков в их транспорте. При проведении опытов использовались крупные обломки кварца и горного хрусталя. Эти минералы по своему удельному весу значительно легче самородного золота. Однако самородки нередко представляют собой сростки с кварцем, что значительно снижает их удельный вес. В связи с этим выявленные при проведении экспериментальных исследований особенности транспорта крупных обломков могут быть применены также для объяснения механизма смещения самородков.

При проведении опытов использовалась дождевальная установка, на поверхность которой укладывался слой наносов. При его размыве все обломки, независимо от их размера и веса, а также интенсивности дождя, перемещались вниз по склону, хотя динамическое воздействие струй на них



было явно недостаточно. Замедленная киносъемка эксперимента позволила выявить некоторые любопытные детали процесса перемещения обломков. Они сдвигались отдельными импульсами, проходили небольшой отрезок пути, а затем на некоторое время полностью останавливались до следующего «толчка». В процессе перемещения обломки переворачивались как в отношении горизонтальной, так и вертикальной осей. Траектория движения обломков часто отклонялась от линии наибольшего ската склона в ту или иную сторону на 10-15°.

Эксперименты показали, что смещение обломков происходило вследствие смыва грунта возле них. В процессе смыва грунта защищенная обломком часть склона постепенно становилась выше окружающей поверхности, равновесие нарушалось, возникал микрооползень, или за счет вымывания грунта обломок терял равновесие и скатывался вниз по склону. Поскольку эффект смещения связан с обтеканием потоком обломка и вымыванием вокруг него мелкого грунта, он был назван аблювиальным (от слова *ablutio* – обмываю) [Маккавеев, Калинин, 1968]. Эксперименты позволили установить следующую зависимость, определяющую величину горизонтальной составляющей пути ( $L$ ), пройденного обломком в зависимости от мощности эрозионного среза ( $h$ ) и угла крутизны склона ( $a$ ).

$$L = h(9 \sin a + k), \quad (2)$$

где величина  $k$  для вогнутых склонов равна 0,3, для прямолинейных и слабовыпуклых – 0,5.

Уравнение (2) действительно в диапазоне значений  $a$  от 3° до 25°. При углах свыше 25° аблювиальный эффект затушевывается гравитационными процессами. При крутизне склона менее 3° более точные результаты дает следующая формула:

$$L = 14,5h \sin a, \quad (3)$$

Для перемещения крупных обломков горных пород на значительные расстояния в результате аблювиального эффекта требуется длительное время. Тем не менее этот эффект объясняет процесс «стягивания» к тальвегам логов крупных обломков пород и самородков с довольно пологих склонов без участия оползней, оплывин, солифлюкции и крипа.

**Смещение частиц тяжелых минералов по склону в днища долин.** Золотоносные россыпи формируются в основном за счет частиц золота небольшой крупности. Их поступление в потоки происходит при выносе частиц полезного компонента притоками, непосредственного размыва коренного источника в днище долины, за счет перемещения частиц золота по склонам. Механизм «стягивания» частиц тяжелых минералов с водосборов и поступление его в долину слабо изучен. Этот процесс удалось проследить благодаря эксперименту.

Склон моделировался на дождевальной установке, на поверхности которой располагался слой наносов мощностью 20 см. Перед началом опыта на поверхность склона с учетом микрорельефа укладывались обломки кварца весом 30 и 130 г и частицы, изготовленные из металлов разного удельного веса. Положение обломков и частиц точно фиксировалось. В ходе опытов проводилась съемка рельефа склона и определялась мощность смытого грунта. Положение частиц тяжелых металлов фиксировалось через каждые 15 минут.

По условиям опыта можно разделить на две группы. В опытах первой группы склон имел прямую форму. Крутизна его поверхности в трех опытах этой группы равнялась 9, 13 и 17°. Движение на склонах мелких частиц тяжелых минералов и обломков кварца зависело от крутизны и формы склона и мощности смытого слоя. Замедленная киносъемка позволила установить, что на ровных склонах прямой формы спустя несколько минут после начала дождевания возник слой воды, глубина которого увеличивалась по падению склона и была неравномерна по его простиранию. В результате пульсации скоростей в плоскостном потоке образовывались более мощные струи, на месте которых начинался размыв наносов, и возникали первичные эрозионные борозды. Для этих струй отмечалась высокая кинетичность потоков ( $Fg$  от нескольких единиц до двух десятков), повышенная мутность за счет «капельной толчеи». В ходе опытов формировалась фиксированная в плане сеть эрозионных борозд.

В опытах второй группы ровная, параллельно расположенная относительно дна поверхность грунта обрывалась крутым уступом к базису эрозии. На поверхности склона перед началом опыта создавались две ложбинки с глубиной 2 см и с шириной днища 3 см. Дну площадки задавались те же уклоны, что и в опытах первой группы. Созданная модель подвергалась воздействию капель дождя, интенсивностью 3 мм/мин. С началом развития процессов смыва в движение приходили обломки кварца и частицы тяжелых минералов. Крупные обломки кварца, также как и в опытах предыдущей серии, перемещались под влиянием аблювиального эффекта. Мелкие частицы тяжелых металлов являлись своеобразными плотинами, испытывающими напор самого потока и переносимых им наносов. Они смещались вниз по течению на короткие расстояния.

На основании проведенных опытов первой серии установлена зависимость между длиной пути, проходимого обломками и частицами тяжелых минералов, мощностью смытого слоя грунта, крутизной склона, весом и формой частиц. Она выражается следующей формулой:

$$L = h[K_1(P)10^2 \sin -K_2(P)+K_3(P)] , \quad (4)$$

где  $L$  – длина пути, см;  $h$  – средняя мощность смытого слоя, см;  $P$  – вес частиц, г;  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  – коэффициенты, зависящие от веса и формы. Из них  $K_2$  – безразмерный коэффициент, равный 0,125;  $K_2$  – возрастает с уменьшением веса частиц: при весе частиц, равном сотням и десяткам граммов, равен 2,

при весах в диапазоне 1 г и меньше для изометричных форм колеблется от 3 до 12, пластинчатых от 7 до 30.  $K_3$  – выражается в линейных единицах, возрастая с увеличением веса частиц. Для обломков весом в десятки и сотни граммов он равен 0,25 и для частиц менее 1 грамма – от 1 до 2,25.

Наличие перегиба склона и микроложбин на его поверхности во второй группе опытов внесли существенные изменения в характер смещения частиц тяжелых минералов. Сток воды уже в самом начале опыта локализовался в днищах ложбин. Здесь образовались временные русловые потоки, функционирующие в течение всего опыта. По ложбинам распространялась регрессивная эрозия. Уступ ее вреза зарождался у бровки перегиба склона, откуда он смещался вверх по течению с возрастающей скоростью. Одновременно шло углубление ложбин. Перенос обломков, попавших в тальвеги ложбин, определялся их весом и транспортирующей способностью потока. Более мелкие частицы, весом в десятые доли грамма переносились потоками на значительные расстояния. Крупные частицы смещались в результате аблювиального эффекта. Наличие микрорельефа на склоне и деятельность временных водотоков способствовала стягиванию частиц тяжелых минералов в эрозионные ложбины, по которым происходил их транспорт вниз по течению.

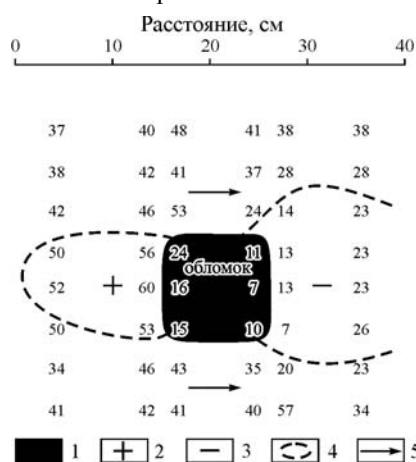
### **2.3. Механизм перемещения россыпеобразующих минералов в русле**

*Особенности транспорта крупных обломков в русле.* В небольших горных реках крупные обломки, в том числе и самородки, могут перемещаться на значительные расстояния. Для исследования механизма этого процесса были проведены опыты в лотке с переменным уклоном дна. С целью имитации шероховатости коренного ложа дно лотка было покрыто бетоном, в который в шахматном порядке наполовину утоплена галька диаметром 2-3 см на расстоянии 5 см друг от друга. Для опытов было отобрано 100 обломков кварца и хрусталя различной степени окатанности, вес которых варьировал от 40 до 4760 мг. Опыты можно разделить на две группы: в потоках: 1 – с установившимся и 2 – с неустановившимся режимом течения.

В опытах первой группы с установившимся режимом течения обломки вводились в поток во время эксперимента. Опыты проведены при трех уклонах дна лотка: 0,035, 0,015 и нулевом. Расходы воды при установившемся режиме течения изменялись в различных опытах от 10,5 до 28,9 л/с. В большинстве случаев поток был бурным ( $Fr \geq 1$ ). Погружение обломков производилось в середине поперечного сечения в створе, удаленном от головного успокоителя на 1 м. После того, как пройденный обломком путь был зафиксирован, он удалялся из лотка, чтобы не создавать препятствия движению следующего обломка.

Проведенные опыты показали, что связь между критическим весом обломков (то есть максимальным весом обломков, которые могут перемещаться при заданных гидравлических условиях) и скоростью течения увеличивается с возрастанием последней. Одной из основных причин, вызы-

вающих рассеивание крупных частиц, является неодинаковая их форма. Существенным фактором, влияющим на транспорт крупных частиц, является глубина потока, роль которой меняется в зависимости от соотношения между ее величиной и размером частиц. Если глубина значительно больше вертикального размера частицы, то она оказывает «пригружающее» воздействие на частицу и критический вес последней увеличивается. Иная роль глубины, если она соразмерна с величиной вертикального поперечника частицы. Крупная частица в этом случае создает местный перепад уровней, и ее смещение осуществлялось не только за счет динамического воздействия струй, но и статического напора (рис. 3). В результате эксперимента установлено, что критический вес частицы аллювия находится в прямой зависимости от глубины потока и скорости течения.



**Рис. 3.** Глубины воды около лежащего на горизонтальном дне обломка (Экспериментальная геоморфология, 1978): 1 – обломок, 2 – водяной бугор, 3 – депрессия водной поверхности, 4 – области наиболее значительных деформаций водной поверхности, 5 – направление течения

Вторая группа опытов позволила выявить некоторые специфические особенности процесса перемещения крупных частиц в потоках с неустановившимся режимом. В узких и сильно шероховатых руслах логов, оврагов и малых рек уровни воды в начале паводка обычно поднимаются ступенями. Каждая ступень соответствует прохождению водяного вала. В гидравлике такие валы получили название прямых положительных волн перемещения. При их прохождении крупные частицы аллювия перемещаются перекачиванием на расстояние порядка нескольких десятков метров. Исследование механизма этого процесса выполнялось в том же лотке, что и опыты первой группы. Благодаря установке щита в головной части модели накапливался объем воды равный  $0,5 \text{ м}^3$ . При резком поднятии щита по лотку проходила волна попуска, высота которой в различных опытах составляла

от 3,5 до 20 см. Мгновенные расходы воды достигали 60 л/с. Скорость распространения переднего фронта волны достигала 1,9 м/с. Опыты производились при трех уклонах 0,042, 0,015 и нулевом. Обломки породы заранее укладывались на дно лотка небольшими группами (по два-три). Отдельные опыты проводились в лотке со стеклянными стенками, что дало возможность провести съемку и проследить особенности воздействия волны на обломок. Когда гребень волны проходил через обломок, возникал всплеск, и обломок приходил в движение. Далее он двигался перекатывнием со скоростью вдвое или втрое меньшей, чем передний фронт волны, и постепенно замедлял свое движение. Таким образом, эффект воздействия волны сводился к импульсивному перемещению обломка на сравнительно небольшие расстояния.

Большое влияние при неустановившемся режиме потока на критический вес обломка оказывает относительная глубина воды в русле до подхода переднего фронта волны. В случае, когда до подхода волны обломок полностью был покрыт водой, критический вес частицы был такой же, как в потоке с установившимся режимом. Наибольший эффект оказывала волна, если до ее подхода обломок лежал на сухом дне. В этом случае обломок воспринимал удар волны всей обращенной против течения поверхностью, и его критический вес возрастал в 2-3 раза.

***Особенности транспорта частиц тяжелой фракции русловыми потоками.*** Попавшие в водотоки под воздействием склоновых процессов или размыва ими своего ложа частицы тяжелых минералов вступают в сферу воздействия на них русловых потоков. Их транспорт и аккумуляция по длине реки определяется в дальнейшем гидравлическими особенностями потоков, крупностью и весом поступающих частиц. При транспорте потоком наносов происходит дифференциация частиц по крупности и весу, как по длине потока, так и по вертикальному разрезу аллювия, и формируются россыпи. Целью опытов являлось изучение этих процессов применительно к частицам тяжелых минералов.

Формирование россыпей, состоящих из частиц тяжелых минералов, моделировалось путем подачи в лоток одновременно с наносами и крупными обломками кварца более мелких металлических частиц. Частицам придавалась различная форма: кубов, шаров, пластин, проволочек.

Частицы размером 3х5х5 см, которые условно именуется кубами, и пластины толщиной в 1 см использовались во всех опытах этой серии. Обломки кварца, подаваемые в поток, подразделялись на три группы – весом 10, 30 и 130 г; поперечное сечение этих обломков изменялось от 2 до 6 см. Частицы в форме куба и пластины, полученные из одного вида металла, имели одинаковый вес. Их диаметр варьировал от 1,0 до 10,0 мм, а вес от нескольких миллиграмм до одного грамма. Число частиц каждой группы изменялось в зависимости от крупности от 20 до 1000 штук. В отдельных опытах использовались различные по удельному весу частицы тяжелой фракции.

Большая часть опытов ставилась по следующей схеме. С пуском воды на модель в поток с транспортера, установленного в 1,5 м от истока, подавались песчаные наносы, которые в ходе опыта образовывали аккумулятивные формы. Последние постепенно смещались вниз по течению. Спустя 20 минут от начала опыта, в поток в течение 30 минут поступали в строгой последовательности мелкие частицы металла и обломки кварца, из которых одновременно с формированием аллювиальной толщи формировалась россыпь. Продолжительность опытов равнялась одному часу. В ряде опытов частицы тяжелых металлов поступали вместе с наносами на модель, сформированную из наносов до начала пуска потока, который при их размыве создавал россыпь из частиц тяжелой фракции.

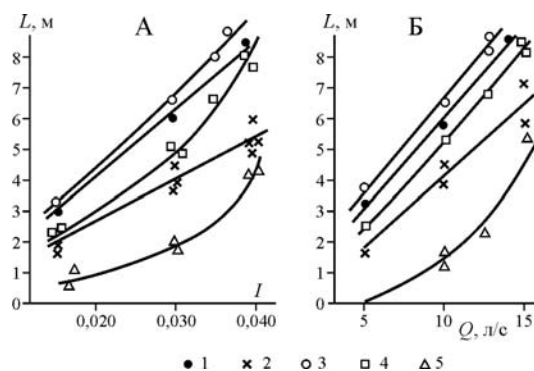
С целью фиксации дальности перемещения от места поступления в поток частиц, составляющих россыпь, поверхность аллювиальной толщи подразделялась на сеть квадратов размером 25x25 см. Сформированная толща аллювия подразделялась по вертикальному разрезу на горизонты. При извлечении частиц, отложившихся в каждом квадрате и в определенном горизонте, устанавливалась дальность их переноса по длине потока и положение по вертикальному разрезу толщи.

При проведении опытов на модели изменялись величина расхода воды потока и уклона продольного профиля. Гидравлические характеристики, в первую очередь, скорости течения и глубины потока по отдельным опытам изменялись в небольшом диапазоне, но испытывали значительные колебания по длине потока. Эти изменения были связаны с характером осадконакопления – формированием рыхлой аккумулятивной толщи. Максимальное снижение скоростей течения и глубин имело место в придельтовой и дельтовой зонах. Здесь же была наибольшей интенсивность накопления осадков. На этих же участках в ходе опытов наблюдались значительные колебания кинетичности потока. Среднее значение числа Фруда во всех опытах было высоким ( $Fr \geq 1$ ), что свидетельствует о бурном режиме моделируемых потоков.

Анализ распределения в толще аллювия осевших в ней частиц тяжелой фракции и обломков кварца показал, что в зависимости от их веса выделяется три типа накопления частиц. Часть обломочного материала, включающего обломки кварца и мелкие частицы, соответствующие по весу руслообразующим фракциям наносов, характеризовалась относительно равномерным осаждением по длине потока. Их транспорт осуществлялся в составе донных гряд и других подвижных песчаных форм русла. Второй тип скоплений образовывали частицы тяжелой фракции и обломки кварца, превышающие по весу руслообразующую фракцию наносов. Они накапливались вблизи источника поступления. Частицы, более легкие, чем руслообразующие наносы, транспортировались на большие расстояния и образовывали неустойчивые скопления.

Дальность переноса частиц от места их поступления, также как и характер их распределения по длине, определялись транспортирующей спо-

способностью потока. С увеличением продольного уклона и расхода потока возрастала длина пути частиц до места их захоронения (рис. 4). Так, самые крупные обломки весом 130 г и мелкие частицы весом 1 г при минимальном расходе и уклоне 0,015 осаждались вблизи створа их поступления в поток. При максимальном значении уклона 0,04 и расходе воды 15 л/сек, участок их максимального осаждения смещался вниз по течению. Величина смещения почти всех частиц, за исключением самых крупных весом 130 г, с увеличением расхода подчинялась линейной зависимости. С возрастанием уклонов перемещение частиц тяжелой фракции весом менее 10 г следовало той же зависимости, а смещение крупных включений подчинялось степенной зависимости. Нарушение последовательного уменьшения пути, проходимых частицами с увеличением их веса, отмеченное для частиц весом 2 г можно объяснить просадкой в песчаную толщу, обусловленную их небольшим диаметром. Наиболее мелкие частицы весом 0,2 г переносились потоком во взвешенном состоянии и, при тех же значениях уклонов и расходов, смещались на большие расстояния.



**Рис. 4.** Зависимость между средней длиной пути частиц от уклонов продольного профиля (А) и расходов воды (Б) (Экспериментальная геоморфология, 1978): частицы весом 1 – 0,2 г, 2 – 1 г, 3 – 10 г, 4 – 30 г, 5 – 130 г

Распределение частиц тяжелой фракции по вертикальному разрезу сформировавшейся аллювиальной толщ также определялось весом частиц и транспортирующей способностью потока. Частицы, превышающие по весу руслообразующую фракцию наносов, концентрировались в нижнем горизонте песчаной толщ. Распределение обломков и частиц, соответствующих по весу руслообразующим наносам по вертикальному разрезу аллювиальной толщ имело более равномерный характер – частицы и обломки кварца рассеивались по всему разрезу отложившихся наносов.

Проведенные эксперименты позволяют сделать следующие выводы. Формирование аллювиальных золотоносных россыпей происходит в процессе транспорта потоком наносов, при котором частицы сортируются по длине потока и вертикальному разрезу рыхлой толщ в соответствии с

их крупностью и транспортирующей способностью потока. Дальность переноса частиц тяжелых минералов также как и местоположение центра тяжести россыпи по длине потока находится в прямой зависимости от транспортирующей способности потока, которая определяется уклонами, расходами воды и крупностью поступающих в поток наносов. Морфологически выраженные россыпи тяжелых минералов формируются только за счет частиц равных по весу руслообразующей фракции наносов или крупнее их. Если размер частиц превышает размер руслообразующих фракций, россыпь образуется вблизи участков поступления. С уменьшением крупности поступающих в поток частиц и возрастанием транспортирующей способности потока участок формирования россыпи смещается вниз по течению. В случае поступления из коренного источника более легких частиц они более равномерно распределяются в аллювиальной толще, создавая неустойчивые скопления, или переходят во взвешенное состояние.

#### **2.4. Влияние крупности наносов на транспорт частиц тяжелой фракции**

На дальность переноса частиц тяжелой фракции и их концентрацию в толще аллювия большое влияние оказывает гранулометрический и минералогический состав движущегося слоя наносов. В учении о россыпеобразовании этому вопросу уделяется большое внимание. Эта проблема тесно связана с особенностями формирования аллювиальных толщ и, в частности, со специфическими условиями захоронения частиц тяжелой фракции в аллювии. По мнению многих исследователей, занимающихся изучением россыпей, оптимальные условия для накопления частиц тяжелых минералов создаются при определенном соотношении средней крупности аллювия и средней крупности частиц тяжелых минералов. По данным Ю.Н.Трушкова [1975] благоприятные условия для концентрации золота возникает при соотношении 10:1. Ю.В. Шумилов [1981] приводит меньшее соотношение – 4:1.

Для исследования влияния состава наносов на формирование россыпей ставились две группы опытов. В первой группе опыты проводились на размываемых моделях с различным составом наносов. Во второй группе для выяснения оптимального соотношения крупности наносов и частиц тяжелых минералов опыты отличались только средним диаметром песчано-гравийных наносов.

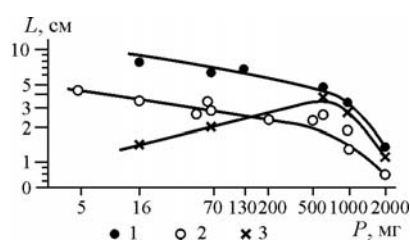
В опытах первой группы использовались песчаные наносы со средним диаметром частиц 0,25 мм, гравийные со средним диаметром 5-7 мм и песчано-гравийные, представленные песком и гравием в равных пропорциях. Коэффициент шероховатости (по Маннингу), равнялся в первом случае 0,013, во втором – 0,020 и третьем – 0,017. Опыты проводились при уклоне дна лотка 0,03 и расходе воды 15 л/с.

При моделировании процесса образования россыпей в качестве частиц тяжелой фракции использовались частицы свинца, весом от 16 до 1000



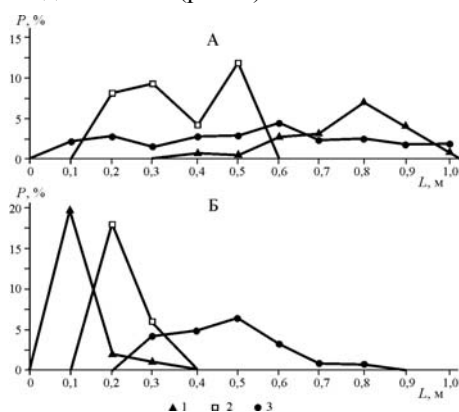
мг. Россыпи формировались в стадию врезания продольного профиля. Средняя мощность размытого к концу опыта слоя грунта составляла 8 см. Различия в шероховатости, наличие или отсутствие пор между частицами, слагающими наносы, явились причиной особенностей гранулометрической дифференциации частиц тяжелых минералов по длине россыпей, сформированных в процессе опытов, и по вертикальному разрезу аллювия.

При песчаном составе наносов более тяжелые частицы проходили меньший путь от места их поступления по сравнению с более легкими (рис. 5).



**Рис. 5.** Зависимость между средней длиной пути частиц тяжелой фракции ( $L$ ) и их весом ( $P$ ) в потоках с разным составом наносов [Экспериментальная геоморфология, 1978]: состав наносов: 1 – песчаный, 2 – смешанный, 3 – гравийный

Морфологические особенности графиков кривой распределения частиц, т.е. протяженность участка их захоронения, форма максимума накопления, определялась как формой и весом частиц, так и уклоном продольного профиля и расходом потока (рис. 6).



**Рис. 6.** Изменение запасов частиц тяжелых минералов по фракциям (в процентах от общего веса) ( $P$ ) в зависимости от расстояния от коренного источника ( $L$ ) при песчаном (А) и гравийном (Б) составе наносов (Экспериментальная геоморфология, 1978): частицы в форме пластин весом: 1 – 16 мг, 2 – 1000 мг; в форме кубов весом 3 – 1000 мг

Частицы пластинчатой формы образовывали большие по протяженности зоны, которые характеризовались меньшими величинами максимумов накопления по сравнению с более крупными и изометричными частицами того же веса. В ходе опыта плоскость пластины в потоке обычно располагалась таким образом, что нижний, ориентированный ко дну край пластины оказывается несколько смещенным вниз по течению по сравнению с верхним. В результате возникал эффект парусности. Обтекая пластину, поток давил на нее в направлении, перпендикулярном ее плоскости. Направленная вверх подъемная сила увеличивала степень подвижности пластины и способствовала ее переходу во взвешенное состояние при меньших значениях скоростей, по сравнению с равновеликим по весу кубом.

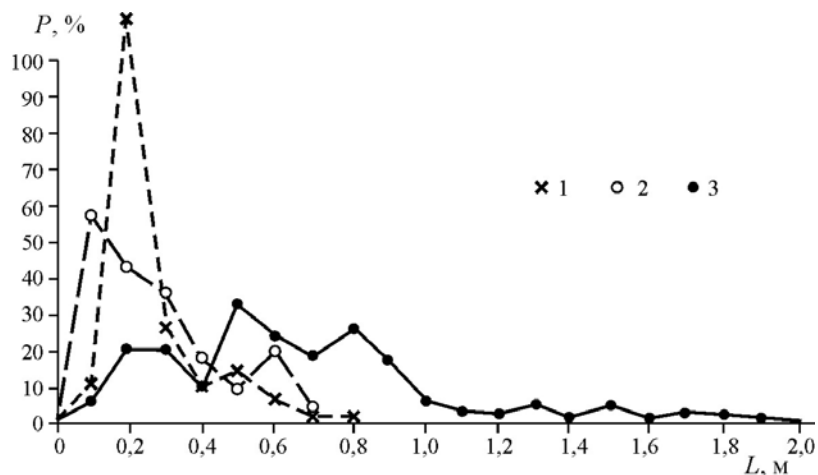
В опытах со смешанными песчано-гравийными наносами наблюдалось экранирующее воздействие мелкой фракции аллювия, заполняющего поры, которое препятствовало проникновению тяжелых частиц в толщу аллювия. В этом случае кривая распределения частиц тяжелой фракции имела такой же вид, как и при песчаных наносах – длина пути частиц тяжелой фракции с увеличением их веса убывала (рис. 5). Однако при смешанном составе наносов частицы металла проходили в 2-3 раза меньший путь по сравнению с аналогичными по весу частицами, формирующими россыпь в песке.

Более сложная картина наблюдалась при формировании россыпей в однородных гравийных наносах. Благодаря наличию пор между обломками гравия в ходе опыта уже в начале россыпи происходила просадка мелких частиц тяжелых минералов, которые откладывались на незначительном расстоянии от места поступления (рис. 5). Длина пути, проходимого частицами тяжелой фракции, определялась соотношением диаметров частиц полезного компонента и обломков аллювия. Этот показатель определяет возможность проникновения частиц тяжелых минералов между обломками. Шероховатость ложа служила защитой частиц тяжелой фракции от воздействия на них потока, в случае, если их диаметр был меньше высоты выступов. С возрастанием веса и соответственно диаметра частицы тяжелых минералов уже не могли проседать в поры и переносились потоком на большие расстояния по сравнению с мелкими частицами. При достижении критического веса ( $\geq 500$  мг) частицы могли транспортироваться потоком с заданными в опытах параметрами на небольшие расстояния при любом составе грунта (рис. 5). В этом случае дальность переноса частиц контролировалась транспортирующей способностью потока.

В зависимости от состава наносов была различна последовательность накопления по длине россыпи частиц разных фракций (рис. 6). Так, в гравийных наносах в начале россыпи был сформирован максимум запасов из мелких частиц весом 16 мг, в то время как более тяжелые частицы, весом 1000 мг, проходя больший путь, образовали его ниже по течению. Участок их накопления имел большую длину по сравнению с россыпью, образованной в песчаных наносах. Вниз по течению, хотя и наблюдалось убывание крупности частиц, но вследствие сближения максимумов осадения от-

дельных фракций сортировка частиц по крупности имела сложный характер. Отмечаемая для россыпей, сформированных в песчаных и песчано-гравийных наносах обратная зависимость между содержаниями мелких и крупных фракций золота по длине россыпи сменялась для определенного диапазона фракций на прямую. В результате в гравийных наносах нормальный процесс дифференциации был нарушен и более крупные частицы смещались ниже по течению по сравнению с мелкими.

Различия в характере перемещения частиц тяжелых минералов в опытах с разным составом наносов определили морфометрические параметры россыпи, расположение их по отношению к источнику поступления, распределение продуктивности. Анализ графиков изменения суммарных запасов россыпей, сформированных в аллювии разного состава, показывает, что благоприятные условия для концентрации полезного компонента создаются при песчаном и смешанном составе аллювия (рис. 7).



**Рис. 7.** Изменение суммарных запасов частиц тяжелых минералов ( $P$ ) по длине россыпи ( $L$ ) при разном гранулометрическом составе наносов [Экспериментальная геоморфология, 1978]: состав наносов: 1 – песчаный, 2 – смешанный, 3 – гравийный

В этом случае зона нарастания запасов располагалась вблизи источника поступления и на относительно небольшом отрезке по протяжению россыпи. Сформированные при проведении опытов россыпи имели незначительную протяженность и характеризовались высокой продуктивностью. В гравийных наносах условия были менее благоприятные для формирования участков с повышенным содержанием тяжелых частиц. Небольшой пик продуктивности, обусловленный накоплением мелких частиц тяжелых минералов, отмечался в начале россыпи. Максимум кривой запасов, сформированный более крупными фракциями был смещен вниз по течению. Про-

дуктивность россыпи была значительно ниже по сравнению с россыпями, сформированными в опытах с песчаными и песчано-гравийными наносами.

Различный состав наносов определил также характер распределения частиц тяжелых минералов по вертикальному разрезу аллювия. При песчаном составе наносов наблюдалась прямая дифференциация частиц тяжелых минералов по весу. В нижний горизонт сформированной в процессе опыта толщи проникали более тяжелые и крупные частицы по сравнению с верхним горизонтом, в котором осаждались более мелкие и легкие частицы. При гравийном и смешанном составе наносов более крупные и тяжелые частицы, не имея возможности проникнуть между обломками, накапливались в верхах горизонтах толщи, в то время как мелкие частицы глубоко проникали в поры и концентрировались в нижних горизонтах разреза.

Во второй группе опыты отличались только крупностью подаваемых наносов. На модели задавался гидравлический режим, соответствующий потоку полугорного типа с уклоном 0,03-0,04 и скоростью течения 0,8-1,2 м/с. Длина, высота и объем размываемой модели оставались постоянными. Дно лотка выстилалось ковриками из технического войлока, имитирующими значительную шероховатость плотика россыпи. В верхней части модели располагался источник с частицами тяжелых минералов определенного гранулометрического состава. При постановке опытов использовались: шлиховое золото диаметром 0,06 – 1,0 мм, свинец диаметром 0,5-2,0 мм и магнетит диаметром 0,25-1,0 мм.

Режим потока на модели обуславливал врез на том участке, где формировалась россыпь, а время проведения опыта условно соответствовало одному эрозионному циклу. При проведении опытов использовалась в основном песчано-гравийная фракция, т.е. наносы были представлены частицами размером от 0,1 до 40 мм. Глинистые фракции исключались. Средняя крупность рыхлых отложений от опыта к опыту увеличивалась. Гранулометрический состав размываемых металлоносных отложений представлен в таблице 1.

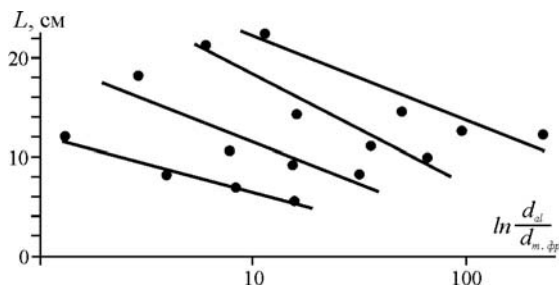
**Таблица 1.** Гранулометрический состав наносов

№№ опытов	Размер фракции, мм								Средняя крупность, мм
	0,1-0,25	0,25-0,5	0,5-1,0	1,0-3,0	3,0-5,0	5,0-7,0	7,0-10,0	10,0-40,0	
I	7	63	11	9	3	2	2	3	0,88
II	-	4	30	11	40	2	2	1	2,75
III	-	22	10	7	18	23	5	15	6,50
IV	1	13	5	2	5	234	15	35	11,79

В процессе опытов осуществлялся перемыв металлоносных наносов и создавалась соответствующая их крупности отмостка с различной шероховатостью. Шероховатость отмостки увеличивалась в зависимости от

среднего диаметра наносов. Распределение частиц тяжелых минералов по длине россыпи при размыве рыхлых отложений разной крупности определялось по положению максимумов накопления. При размыве аллювиальных отложений, средний диаметр которых составлял менее 3 мм, дальность смещения частиц тяжелых минералов с уменьшением их крупности закономерно увеличивалась от 0,84 до 1,41 м. Относительно крупные частицы (0,5-1,0) были минимально удалены от источника питания, а большинство мелких частиц переместилось на большее расстояние. При средней крупности размываемого аллювия 6 мм частицы тяжелых минералов оказались удаленными от источника на расстоянии от 0,62 до 1,3 м. При размыве наиболее грубообломочного аллювия (средняя крупность 12 мм), длина пути смещения частиц тяжелых минералов составила от 0,47 до 1,3 м, то есть в этом опыте все фракции наименее смещены относительно источника. Центр тяжести россыпи располагался ближе к источнику питания.

На рис. 8 показана зависимость дальности сноса частиц тяжелой фракции выраженная через величину « $m$ », от величины отношения среднего диаметра обломков аллювия к среднему размеру частиц тяжелых минералов. С приближением размера тяжелых частиц к среднему диаметру аллювия происходит их незначительное перемещение. Оптимальное соотношение крупности тяжелых частиц и наносов равно 1:10 и более, т.е. частицы тяжелой фракции размером в 1 мм сопровождаются обломками аллювия крупностью в десятки миллиметров, что согласуется с данными, полученными Ю.Н.Трушковым [1975].



**Рис. 8.** Зависимость дальности сноса ( $L$ ) разных фракций тяжелых минералов от отношения среднего диаметра аллювия ( $d_{алл}$ ) к среднему диаметру тяжелых частиц ( $d_{м.фр}$ )

Результаты опытов показали, что на дальность переноса частиц тяжелой фракции и их распределение в толще аллювия большое влияние оказывает гранулометрический состав наносов. Он значительно изменяет условия транспорта и осаждения частиц тяжелой фракции. Влияние крупности и состава наносов на транспорт таких частиц проявляется путем воздействия шероховатости ложа на перемещающиеся в придонном слое частицы тяжелой фракции. Размеры пор между частицами отложившихся наносов оказы-

вают влияние на особенности дифференциации частиц тяжелых минералов по длине россыпи и их распределения по вертикальному разрезу. В россыпях, сформированных в грубообломочном аллювии, в головной части россыпи могут осаждаться как мелкие, так и крупные частицы золота, вплоть до самородков. При наличии в составе наносов мелких фракций происходит заполнение пор, что препятствует вертикальной миграции крупных частиц тяжелых минералов по разрезу. Осаждение частиц золота на участках распространения крупногалечных отложений, обусловленное повышенной шероховатостью подстилающих наносов и наличием пор, является причиной резкого обогащения россыпи. Определенное соотношение крупности частиц тяжелых минералов и вмещающих обломков аллювия контролирует положение начала и конца россыпи по длине потока.

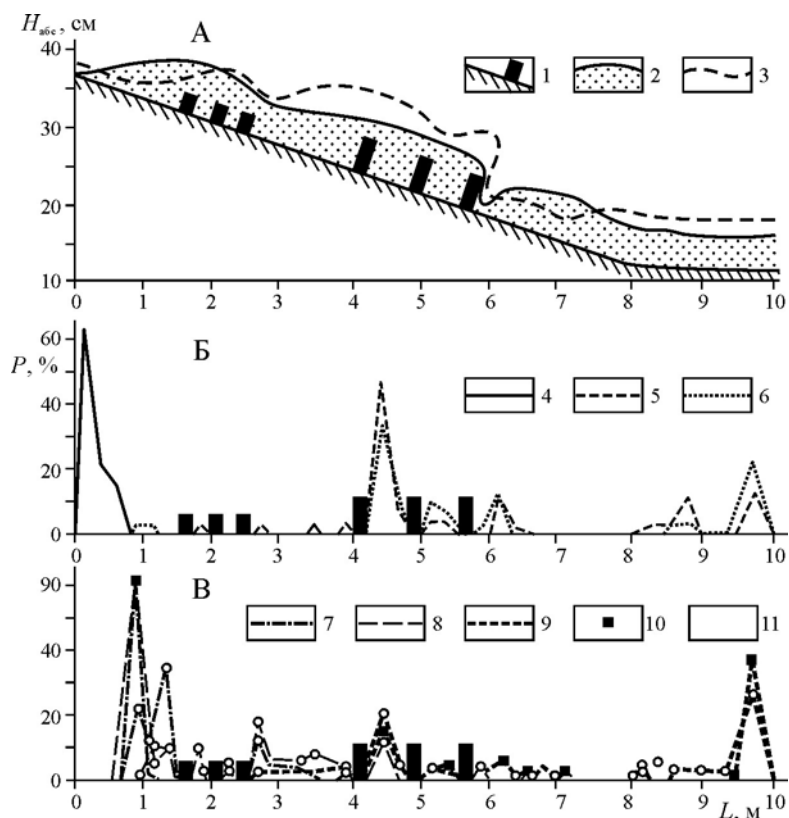
## **2.5. Влияние морфологии плотика на формирование аллювиальных россыпей**

Многими исследователями отмечалась большая роль рельефа поверхности коренных пород (плотика) в характере распределения частиц золота [Билибин, 1938; Воскресенский, 1985; Шило, 2000]. Неровности плотика, свойственные различным типам русел и создаваемые в скальных породах горными и полугорными потоками, оказывают существенное влияние на условия транспорта наносов и частиц тяжелых металлов. Целью опытов являлось изучение влияния неровностей коренного ложа, образующихся в процессе врезания горных и полугорных рек или связанных с выходами скальных пород на дне на особенности формирования россыпей. В первой группе опытов моделировался скульптурно-аккумулятивный, во второй – порожиисто-водопадный тип русел. Первый из них чаще распространен на средних участках течения горных и полугорных рек, а второй – в верхних звеньях гидросети.

*Влияние скульптурно-аккумулятивного типа русел на транспорт частиц тяжелой фракции.* На дне лотка искусственно создавались поперечные выступы – преграды, имитирующие скульптурные неровности ложа потока, которые образуются в скальных породах ложа долин. Первая группа преград располагалась на верхнем участке между 1,5 и 2,5 м от истока. Преграды имели высоту 2 см, близкую к одной трети средней глубины потока. Ниже по течению на участке длиной 1,5 м дно было ровное. Ниже, на расстоянии 4,0-5,75 м от истока располагалась вторая группа преград высотой 4 см, что примерно на 20% меньше глубины потока. Поперечные выступы разделялись понижением длиной 50 см.

Первые два опыта, с расходом воды 15 л/с, различались концентрацией наносов. В первом опыте она составляла 0,19 г/л/с, во втором – наносы в поток не вводились. В третьем опыте расход воды был уменьшен до 10 л/с. Все опыты ставились при уклоне дна 0,015.

Наличие выступов дна явилось причиной значительной деформации уровня водной поверхности потока по длине и неравномерного характера течения. Воздействие первой группы преград на гидравлический режим потока проявлялось как единое препятствие (рис. 9).



**Рис. 9.** Продольный профиль (А) и распределение частиц легкой (Б) и тяжелой (В) фракций по длине модели в зависимости от морфологии потока (Экспериментальная геоморфология, 1978): 1 – скальное ложе, 2 – слой песка, 3 – продольный профиль водной поверхности; обломки кварца весом: 4 – 130 г, 5 – 30 г, 6 – 10 г; частицы свинца весом: 7 – 1 г, 8 – 0,6 г, 9 – 0,2 г; частицы свинца в форме: 10 – куба, 11 – пластин

Над преградами возник водяной бугор, вершина которого располагалась над средним выступом. Ниже последнего по течению выступа образовалась кривая спада, переходящая в зону подпора, возникшую под воздействием второй группы препятствий. Она перекрывала участок с ровным дном и вторую группу преград. Уровень воды слегка понижался между выступами, а его поверхность перед препятствиями осложнялась поверхност-

ным гидравлическим прыжком. За последним выступом нижней по течению группы преград зона спада переходила в депрессию водной поверхности. Величина перепада уровней над выступами и депрессией составляла 6-7 см. В понижениях между выступами циркулировали вихревые течения (вальцы) с горизонтальной осью вращения. Направление течения придонного слоя воды здесь было направлено против основного течения.

На участках кривой спада ниже по течению от первой группы преград скорости возрастали на 10-15% по сравнению с участком с ровной поверхностью плотика. Они убывали на 30-35% в зоне подпора на участке второй группы преград и слегка понижались над участком с ровным дном и в зоне депрессии водной поверхности ниже по течению от второй группы преград.

С началом подачи в поток песчаных наносов в первом опыте происходила их аккумуляция. Вследствие возникновения сложной системы циркуляционных течений, порожденных неровностями дна, наносы аккумуляровались неравномерным слоем. Наносы довольно скоро перекрыли первую группу преград, которые явились ядрами песчаных гряд. К моменту подачи в поток крупных частиц образовалась одна гряда, перекрывшая первую и вторую группу преград, аналогичная песчаным грядам и перекатам аккумулятивных русел с пологим верховым и крутым низовым склонами. В ее подвалье циркулировал водоворот. Эта гряда облекания, аналогичная скульптурным неровностям плотика, возникающим в скальных породах, оставалась в отличие от аккумулятивных гряд перекатов, неподвижной в течение всего опыта. Механизм транспорта наносов на ней был таким же, как и на аккумулятивных грядах. Самые тяжелые по весу частицы, для которых скорости оказались недостаточными для переноса их через препятствие, осели в соответствии с их весом и формой у его подножия и на верховом склоне. За ними следовали частицы в форме кубов весом в 1 г и 70% – весом 0,6 г, осевших в нижней половине верхового склона. Выше по склону переместились только пластины. Доля отложившихся на склоне частиц весом 0,6 г составила 40%, а более мелких весом 1 г значительно меньше. Частицы весом 0,2 г и обломки кварца весом 10-30 г оказались перенесенными потоком через первую группу преград и участок с ровным дном вниз по течению, где русло имело характер плеса. Понижения между выступами второй группы преград, которые имели большую протяженность, чем на первом участке, оказались заполненным песком. Большая часть частиц осела за первым высоким выступом второй группы преград. Остальные частицы задержались в понижениях между преградами. Этому способствовала значительная протяженность участка между преградами второй группы.

Выступы дна во втором опыте, в течение которого наносы не поступали, можно рассматривать как выходы пластов трудно размываемых пород. В этом случае крупные обломки кварца, превышающие в 2-3 раза по диаметру высоту выступов первых преград, как и мелкие частицы кубической и пластинчатой формы весом 0,6 и 1 г накапливались перед передней



стенкой первого выступа. Через него оказались переброшенными обломки весом 10 г и некоторая доля частиц в форме пластин весом 0,6 и 0,2 г, осевших за первым выступом, а также на его поверхности. Таким образом, в чистых или слабонасыщенных наносами потоках даже невысокие неровности плотика могут стимулировать осаждение перед ними или в их скоростной тени частиц тяжелой фракции и обломков, диаметр которых превышает высоту уступа в несколько раз.

Уменьшение расходов воды в третьем опыте увеличило соотношение между высотой преград и глубиной потока. Под воздействием преград скорости по длине потока уменьшились на 15-20%, резко снизилась кинетичность потока. Перекат, сформировавшийся на участке первой группы невысоких преград, стал барьером для транспорта большинства обломков кварца и тяжелых частиц металла, которые аккумуляровались перед ним. Незначительная часть наиболее мелких частиц весом 0,2 г осела на плесе за первым выступом. Большая их часть вихревыми образованиями была выброшена из западины между выступами и осела в дельте, сформированной в условиях снижения скоростей течения и бурности потока в нижнем по течению участке модели.

Поставленные эксперименты свидетельствуют о том, что образование скульптурно-аккумулятивных неровностей ложа – гряд облекания или перекатов – сопровождается дифференциацией частиц тяжелой и легкой фракций по элементам гряд. Увеличение расходов воды и насыщение потока наносами увеличивает его способность переносить тяжелые частицы.

***Влияние порожисто-западинного типа на транспорт частиц тяжелой фракции.*** На некоторых участках горных и полугорных рек характерно наличие порогов, образованных в местах выхода трудно размываемых пород, сменяющихся западинами, возникающими у их подножья или на участках распространения менее устойчивых к размыву пород. Параметры этих неровностей в большей мере связаны не с транспортирующей способностью потоков, а со структурно-литологическими особенностями коренных пород. С целью исследования влияния порожисто-западинного рельефа плотика на формирование россыпей было проведено три опыта. На модели на расстоянии 5 м от истока был создан порог высотой 10 см, который обрывался к водобойной западине, сочленяющейся с ровным дном нижнего участка. В ходе опытов изменялась длина западины и высота нижнего по течению борта таким образом, что при высоте стенки в 4 см, соразмерной с глубиной потока, длина западины в первом опыте равнялась 30 см, а во втором была увеличена в два раза. В третьем опыте длина западины равнялась 30 см, а высота нижней по течению стенки достигала 8 см, превышая глубину потока почти в два раза. Расход воды во всех опытах составлял 15 л/с, уклон – 0,03.

Наличие порога и западины у его подножья вызвало деформацию водной поверхности потока, образование ниспадающей струи и создало

специфические гидравлические условия, оказывающие влияние на транспорт наносов. При относительно короткой и неглубокой западине струя «выскакивала» из западины, увлекая из нее почти все крупные обломки весом 30 и 10 г. Некоторая их часть осела на участке замедления скоростей. Остальные крупные обломки достигли дельты. Существенное влияние оказала западина на транспорт мелких частиц тяжелой фракции. В ней осело больше половины всех частиц весом 1 г в виде кубов и несколько меньше пластин того же веса. Большая часть пластин была вынесена ниже по течению. Мелкие частицы весом 0,2 г отложились в дельте.

Увеличение длины западины во втором опыте не способствовало гашению бурности ниспадающей струи на участке ее сочленения с дном западины. Снижение скоростей потока в этом случае произошло только у нижнего конца западины. Вследствие больших скоростей потока ниже порога в этом опыте, как и в предыдущем, все крупные обломки и перемещавшиеся во взвешенном состоянии частицы весом 0,2 г были выброшены из западины и осели в дельте. Частицы тяжелой фракции весом 1 г и 0,6 г под воздействием циркуляционных течений на дне осели у подножия уступа и перед нижней по течению стенкой западины. Лишь незначительная доля пластин, перенесенных потоком через нижнюю стенку западины, оказалась у подножия ее пологого склона.

Увеличение высоты задней стенки у относительно короткой западины в третьем опыте способствовало возрастанию в ней глубины и снижению скоростей потока. Энергия струи оказалась недостаточной для выброса тяжелых частиц и основная их масса осела в западине. Только 20% частиц весом до 0,2 г достигли дельты.

Поставленные опыты свидетельствуют о том, что на участках резких перегибов продольного профиля, выраженных в виде узла (порог – западина) создаются специфические условия для транспорта наносов разной крупности. Наличие западин способствует нарушению сопряженного осаждения частиц тяжелых минералов и обломков аллювия по длине потока. Изменение структуры потока в зоне западин и других неровностей ложа создают благоприятные условия для аккумуляции частиц тяжелой фракции, которые как бы «отстают» от сопутствующих им обломков аллювия. Таким образом, западины играют роль ловушек, в которых происходит накопления частиц тяжелых минералов.

## **2.6. Формирование россыпей в зависимости от направленности вертикальных деформаций**

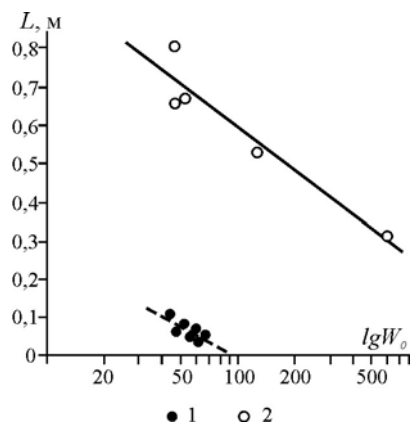
Пластовые россыпи формируются в стадию врезания долины при интенсивном транспорте наносов, обуславливающим накопление частиц золота в нижнем горизонте аллювиальной толщи. Однако на общем фоне врезания долин по их длине происходит неоднократная смена участков, на которых осуществляется интенсивный транспорт наносов с участками преобладания аккумуляции. Направленность вертикальных деформаций русла

определяется балансом наносов и определяет условия их транспорта и аккумуляции. Как показал В.В. Ламакин [1950], на эрозионных участках, т.е. на участках выноса аллювия, преобладающее значение в общей массе аллювия имеет крупный материал, а на аккумулятивных участках, т.е. на участках положительного баланса наносов – мелкий.

Для изучения влияния направленности вертикальных деформаций на транспорт частиц тяжелых металлов было поставлено три опыта. В первом опыте прослеживался механизм транспорта тяжелых частиц в процессе врезания продольного профиля. Мощность размытого горизонта составляла 8 см. Во втором опыте перемещение частиц тяжелой фракции происходило на участке, захваченном процессами аккумуляции. В третьем опыте исследовалось влияние амплитуды врезания (мощности наносов) на особенности формирования россыпи. При постановке первых двух опытов использовались песчаные наносы, в третьем – гравийные.

Для исследования особенностей транспорта частиц тяжелых минералов для всех частиц, используемых в опытах, было рассчитано значение гидравлической крупности, которое является показателем скорости падения частиц в спокойной воде. Средняя длина пути, пройденного частицами тяжелых минералов, определялась по формуле (1).

При проведении опытов частицы тяжелой фракции одной и той же гидравлической крупности проходили путь на порядок больший на участке, испытывающим врезание, чем частицы, транспортируемые на участке аккумуляции наносов (рис. 10). И в том и в другом случае путь частиц закономерно уменьшался с увеличением их гидравлической крупности. В результате на участках врезания были сформированы более длинные россыпи, чем в случае поступления частиц тяжелых минералов в зону аккумуляции наносов. На участке аккумуляции сформировались короткие по длине россыпи, максимум накопления частиц тяжелых минералов практически примыкал к створу поступления в поток металла. Верхний отрезок россыпи характеризовался слабой сортировкой частиц по форме и крупности и только в зоне спада, сильно растянутой по длине, она улучшалась.



**Рис. 10.** Зависимость средней длины пути ( $L$ ) тяжелых частиц от гидравлической крупности частиц ( $W_0$ ): 1 – стадия эрозии, 2 – стадия аккумуляции.

Направленность вертикальных деформаций отразилась на характере распределения металла по вертикальному разрезу аллювия. При преобладающей аккумуляции наносов продуктивный горизонт постепенно перекрывался толщей наносов, поступающих с верхних участков. Его мощность зависела от количества поступающих наносов и продолжительности процесса аккумуляции. В ходе опытов было сформировано несколько прослоев с небольшой концентрацией частиц тяжелых минералов. При врезании частицы тяжелых минералов образовали единый горизонт с повышенным содержанием тяжелых частиц, залегающий в основании рыхлой толщи.

Целью третьего опыта являлось изучение влияния мощности слоя наносов, перемытого в процессе врезания русла, на перемещение частиц тяжелых минералов. При постановке опыта использовались гравийные наносы, мощность размытого слоя увеличивалась от 1 до 5 и 8 см. Частицы тяжелых минералов перед началом опыта укладывались в верхней части модели на поверхность наносов. В процессе формирования продольного профиля по мере размыва наносов происходило перемещение частиц тяжелых минералов, которые откладывались по длине модели в соответствии с их весом и формой. Результаты опытов свидетельствуют о том, что с увеличением мощности размытого горизонта возрастает дальность переноса частиц вниз по течению в зависимости от их крупности и формы (табл. 2).

**Таблица 2.** Длина пути частиц разного веса и формы в зависимости от мощности смытого горизонта

Мощность смытого горизонта, см	Форма частиц и их вес, мг						
	16		70		130		1000
	Изометричные	Шар	Пластины	Шар	Пластины	Куб	Пластины
1	9	6	13	4	18	9	26
5	13	21	22	22	40	-	-
8	16	23	32	26	42	30	48

При размыве слоя мощностью 1 см заметная сортировка по весу произошла только у частиц пластинчатой формы. По мере увеличения мощности размытого слоя, сопровождающегося размывом большего объема наносов, произошла сортировка всех видов частиц, дальность смещения которых постепенно увеличилась. При перемыве всей мощности наносов на модели сформировалась «отогнанная» россыпь, начало которой было сдвинуто на значительное расстояние от источника поступления частиц тяжелых минералов.

Дальность смещения частиц тяжелых минералов определялась их формой и весом. Особое положение занимают самые легкие, изометричные частицы весом 16 мг, путь которых при размыве слоя в 8 см был в два раза меньшим по сравнению с кубами весом в 1000 мг (табл. 2).

Инертность малых и легких по весу частиц еще раз подтверждает явление их «проседания» в поры между обломками вмещающей породы при крупном составе аллювия.

## 2.7. Формирование россыпей на участках регрессивной эрозии

Основная цель опытов сводилась к выявлению особенностей формирования россыпи в результате размыва протяженной металлоносной толщи при регрессивной эрозии. Подобная ситуация достаточно часто встречается при формировании аллювиальных россыпей золота.

Перед началом опыта дно лотка выстилалось слоем песка мощностью 15 см. Уклон поверхности лотка составлял 0,02. На участке модели, расположенном между 4 и 7 м от истока по оси лотка была выделена полоса шириной 25 см, разбитая на квадраты (блоки) 25х25 см. В каждом блоке в песчаную толщу в трех горизонтах (на поверхности и на глубине 3 и 6 см) укладывались свинцовые частицы. При этом соблюдалось полное подобие в плановом распределении частиц по горизонтам. Частицы каждого горизонта были окрашены в определенный цвет. Параметры заложенных в каждом горизонте металлоносной толщи частиц свинца даны в таблице 3.

**Таблица 3.** Вес и число частиц в каждом горизонте металлоносной толщи

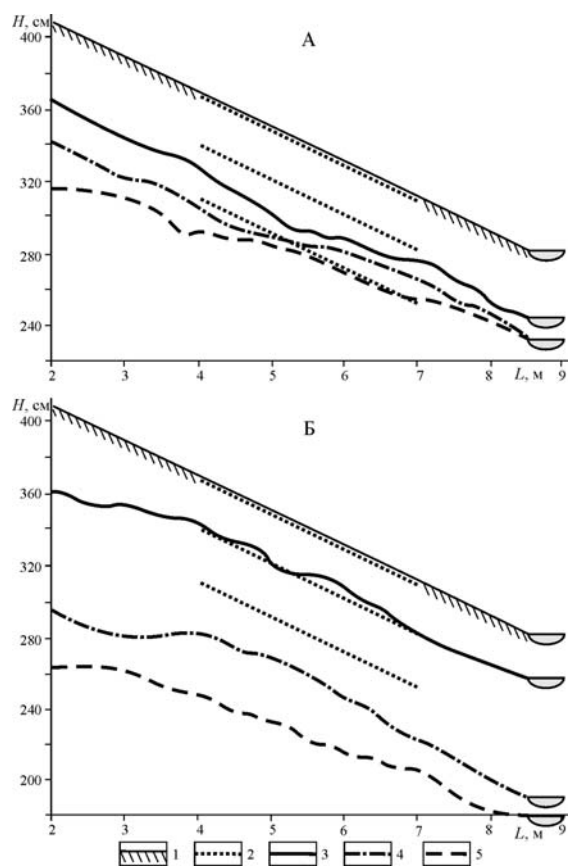
Форма	Пластины			Шары			Кубы	
Вес, мг	70	130	200	5	200	350	500	1000
Число	3	3	3	3	5	5	3	3

В каждом горизонте одного блока металлоносной толщи было заложено по 28 частиц. Их общий вес составлял 8,7 г. В каждом горизонте, включавшем 12 блоков, вес частиц свинца составлял 104,3 г. Общий вес частиц в трех горизонтах – 313,2 г. Созданная таким образом пластовая толща условно названа металлоносной толщиной.

Серия включает три опыта. Продолжительность каждого опыта – 6 часов. В ходе опытов уровень приемного бассейна постепенно снижался: в первом опыте на 5 см в течение 1 часа 40 мин, во втором опыте – на 12 см в течение 4 часов, в третьем – на 14 см в течение 5 часов. В ходе опытов каждый час проводились замеры скоростей течения и глубин потока, нивелировка продольного профиля. В конце каждого опыта проводили опробование образовавшейся россыпи по блокам.

При постепенном понижении уровня приемного бассейна происходило распространение вверх по течению регрессивной эрозии, в результате наносы на нижнем участке модели неоднократно перемывались. В первом опыте основные изменения продольного профиля произошли после двух часов работы модели. Размыв металлоносной толщи продолжался и после прекращения понижения базиса эрозии, причем русло находилось на уровне нижнего металлоносного горизонта, а в верхней части углублялось в него на несколько сантиметров (рис. 11А). Во втором и третьем опытах уже к четвертому часу работы модели продольный профиль врезался в металлоносную толщу на несколько сантиметров ниже третьего металлоносного горизонта (рис. 11Б). Вследствие разной величины снижения уровня приемного бассейна в каждом опыте длина участков, захваченных регрессивной эрозией, была различной. Так, в первом опыте при

минимальном снижении базиса эрозии она составляла 3 м. Во втором опыте протяженность зоны эрозии достигла 5 м. На участках регрессивного вреза наблюдалось увеличение крутизны продольного профиля до 0,025-0,03, что вызывало возрастание скоростей течения потока до 0,5-0,6 м/с по сравнению с 0,4-0,45 м/с на верхнем участке. К концу опытов уклоны по всей длине потока приобрели одинаковое значение (0,013-0,015), а скорости течения составили 0,4-0,45 м/с.



**Рис. 11.** Изменение продольного профиля при регрессивной эрозии в течение первого (А) и второго (Б) опытов: 1 – первичная поверхность, 2 – металлоносный горизонт; продольные профили после 3 – двух, 4 – четырех и 5 – шести часов проведения опытов.

При оценке изменений, происходивших в результате перемыва металлоносной толщи, анализировалось перемещение отдельных частиц в зависимости от мощности перемытого горизонта. С целью выявления дина-

мики частиц они подразделялись на две категории: 1) частицы не испытавшие смещения и 2) сместившиеся: а) в границах металлоносной толщи и б) ниже нее по течению

Изучение перемещения частиц, формирующих россыпь, происходило по блокам. В начале устанавливалось, как изменился общий баланс частиц в блоке по сравнению с частицами, заложенными в металлоносной толще в начале опыта. Если вес частиц в блоке оставался без изменения, блок относился к нейтральному. Соответственно, отрицательный баланс свидетельствовал о выносе частиц свинца, а положительный – об аккумуляции металла, переместившегося из вышерасположенного по течению участка. При анализе учитывались количественные изменения каждого вида частиц по сравнению с количеством частиц, заложенных в блоке до начала опыта с учетом их принадлежности к определенному горизонту. Расчеты проводились по двадцати блокам. Двенадцать из них располагались в границах металлоносной толщи и восемь – ниже по течению. Данные расчетов сведены в таблице 4.

**Таблица 4.** Число блоков с разным балансом в зависимости от мощности перемытого слоя металлоносной толщи ( $H$ )

Горизонт	$H$ , см	В границах металлоносной толщи			Ниже по течению	
		Нейтральный	Вынос	Аккумуляция	Нейтральный	Аккумуляция
Верхний	6	1	9	2	2	6
	12	4	8	8	0	8
Средний	3	2	8	2	4	4
	6	3	9	0	0	8
Нижний	1	12	3	3	5	3
	6	7	5	0	0	8

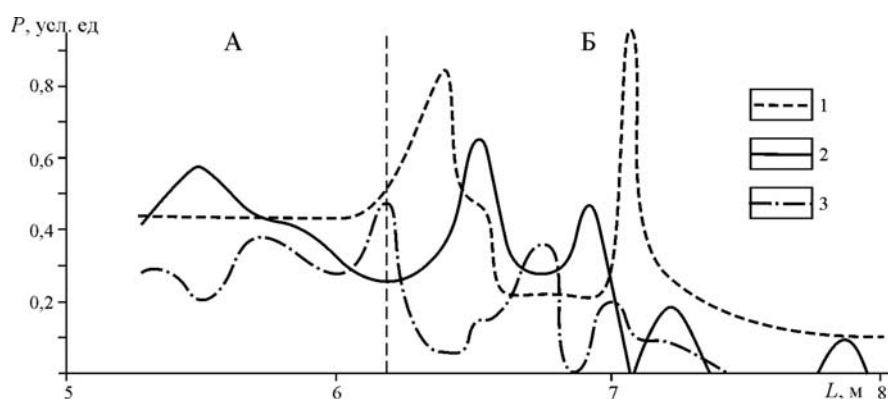
С увеличением мощности перемытого слоя в границах металлоносной толщи преобладали блоки с отрицательным балансом частиц свинца, т.е. преобладал вынос металла. В россыпи, сформированной к концу первого опыта, ниже по течению от металлоносной толщи число блоков с положительным балансом уменьшилось от верхнего металлоносного горизонта к нижнему. С возрастанием мощности перемытого слоя металлоносной толщи в опыте 2 разнос потоком частиц происходил ниже по течению от металлоносной толщи по всей длине модели.

При малой мощности перемытого аллювия (первый опыт) в верхнем металлоносном горизонте возрастало число нейтральных блоков. В конце второго опыта проводилось более детальное опробование россыпи и определялась средняя длина пути для каждого вида заложенных по горизонтам частиц свинца. При подсчете запасов металла по более мелким блокам во втором опыте оказалось, что не сместившиеся частицы составляют всего несколько процентов от общего их количества.

Смещение основной массы частиц произошло в границах металлоносной толщи. Металл, сместившийся ниже по течению, составил неболь-

шую долю от общего количества частиц. При этом частицы изометричной формы (шары и кубы) проходили значительно меньший путь по сравнению с пластинчатыми частицами.

Для анализа характера перераспределения запасов металла в процессе регрессивной эрозии строились графики распределения запасов для отдельных фракций металла (рис. 12).



**Рис. 12.** Распределение запасов металла частиц с разным весом по длине россыпи на участках: не затронутом регрессивным врезом (А) и затронутом регрессивной эрозией (Б): пластины весом 1 – 200 мг, 2 – 130 мг, 3 – 50 мг.

На нижнем участке модели (Б), где осуществлялась регрессивная эрозия, наблюдается неравномерное распределение металла. Графики характеризуются многопиковостью, отдельные пики имеют ассиметричную форму с большей крутизной спада запасов. Этот признак является характерной особенностью участков, испытавших воздействие регрессивного вреза. Увеличение уклонов на участках его распространения вызывает увеличение скоростей течения и транспортирующей способности потока, что способствует перемещению тяжелых частиц вниз по течению. Неравномерность распределения запасов связана с многократным воздействием регрессивной эрозии.

## 2.8. Особенности формирования россыпей в водотоках с различными типами русел

Зависимость распределения тяжелой фракции аллювия от морфодинамических типов русел и на отдельных элементах созданных ими форм является общепризнанным фактом. Экспериментальные исследования по изучению этой проблемы были проведены Н.В. Разумихиным и З.Н. Тимашковой [1960] на моделях, где изучались транспорт и распределение тяжелой фракции в извилистом русле с системой побочной и перекаатов Про-



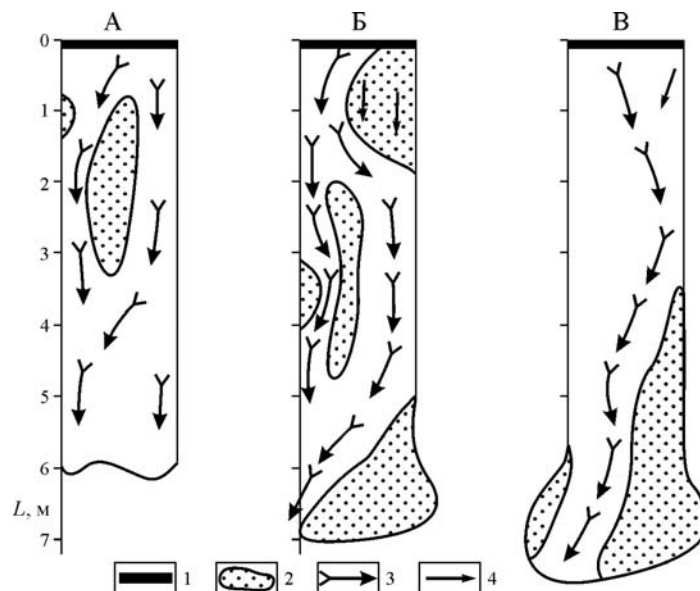
должением этих исследований являются опыты, проведенные на размываемых моделях с различной морфологией русел.

Перед началом опыта дно лотка выстилалось песчано-гравийными наносами со средним диаметром 0,87 мм, в котором создавалась первичная траншея, имитирующая относительно прямолинейное неразветвленное русло. Моделируемый поток по своим гидравлическим характеристикам был близок к горному типу. Уклон продольного профиля равнялся 0,03, число Фруда составляло 1,2, средняя скорость колебалась от 0,7 до 1,2 м/с. Механизм формирования россыпи воспроизводился путем подачи в поток одновременно с наносами мелких фракций ильменита и пирита, имеющих одинаковый удельный вес и в два раза превышающих плотность наносов. Размеры поступающих в поток тяжелых частиц колебались от 0,25 до 1,0 мм. Частицы тяжелой фракции вводились в поток в верхней части модели, что имитировало поступление полезного компонента из размываемого коренного источника, расположенного в русле.

Чтобы иметь возможность проследить за особенностями формирования россыпи на более раннем и более позднем этапе, тяжелые частицы вводились в поток одинаковыми порциями (по 20 г в час). Первые 15 часов работы модели подавались частицы ильменита, в следующие 15 часов – частицы пирита. Близкие значения удельного веса, крупности и количества пирита и ильменита позволили считать сформированную в конце опыта россыпь как единое образование. Вместе с тем, применение разных минералов позволило рассматривать россыпь, сформированную из ильменита в течение первого этапа как первично образованную. При такой схеме опыта представлялось возможным судить о ее преобразовании под влиянием деятельности потока после прекращения подачи ильменита, иными словами после потери связи россыпи с коренным источником.

По режиму потока и условиям опыт подразделялись на два этапа. В первом из них длительностью в 30 часов россыпь формировалась при постоянном расходе воды. На втором этапе подача воды производилась неравномерно, максимальный расход был увеличен в 10 раз. Таким образом, воспроизводился паводочный режим. Нарастание паводка было в два раза короче, чем спад. Продолжительность этого этапа равнялась 3 часам, а общая длительность эксперимента составляла 33 часа.

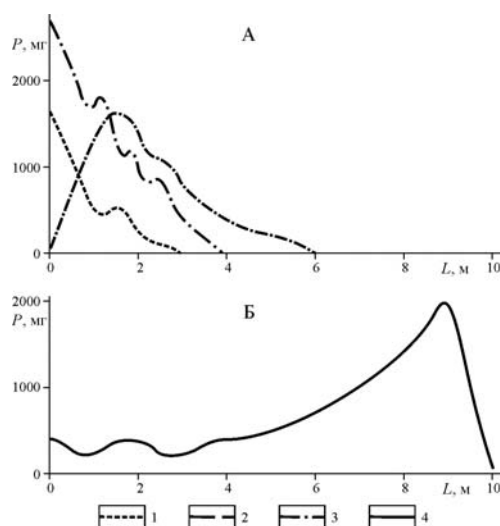
В ходе опыта через каждые 5 часов работы модели производились измерения параметров потока: скорости и глубины, и замеры поперечных профилей русла по 13 сечениям, расположенным по длине модели через 0,5 м. Кроме того, велись плановые зарисовки рельефа русла. В те же интервалы времени производилось опробование формирующейся россыпи. Пробы отбирались по тем же поперечникам. Всего было проведено 7 наблюдений. За каждый интервал времени число проб доходило до 70. Всего в течение опыта было проанализировано около 500 проб.



**Рис. 13.** Изменение русла в ходе опытов: время проведения опытов *A* – 5 часов; *Б* – 30 часов, *В* – 33 часов проведения опытов; 1 – место поступления металла в поток, 2 – осередки и побочни, 3 – стрежень потока, 4 – протоки.

В течение первого этапа наиболее интенсивные переформирования первичной поверхности происходило в верхнем и среднем участках течения. К 15 часам отмечалось врезание потока по всей длине модели. Наибольший врез наблюдался на среднем участке. В зависимости от водности и транспортирующей способности потока на том или ином участке началось формирование русловых форм. Осередок, образовавшийся на участке среднего течения, разделил русло на два рукава (рис. 13А). В ходе опыта он постепенно перемещался вниз за счет размыва приверха и наращивания ухвостья. В процессе эксперимента происходили также локальные размывы берегов, образование отмелей и побочней. К концу первого этапа отмечалось резкое увеличение площадей побочней и удлинение осередка (рис. 13Б). После паводка увеличилась площадь побочней на нижнем участке (рис. 13В). Осередки в этот этап не формировались. На верхнем участке модели, песчаные и гравийные наносы были представлены почти в одинаковых количествах. В ходе опыта происходило вымывание мелкой фракции аллювия с верхних участков русла и ее аккумуляция на участках накопления аллювия ниже по течению. Количество мелкой фракции аллювия на нижнем участке модели достигло 90%. Это приводило к укрупнению поверхностного слоя аллювия и образованию отмостки на верхнем участке. Таким образом, происходила дифференциация вмещающих наносов по крупности.

Опробование россыпи позволило выявить закономерности ее формирования и особенности транспорта частиц тяжелой фракции. В начале опыта кривая графика изменения запасов металла имела форму гиперболы (рис. 14А).



**Рис. 14.** Изменение запасов металла ( $P$ ) по длине россыпи ( $L$ ) в процессе ее формирования: в течение первого (А) и второго (Б) этапов проведения опытов: время проведения опытов: 1 – 5, 2 – 15, 3 – 30, 4 – 33 часов.

Максимум запасов отмечался вблизи источника поступления тяжелых частиц. В течение первых пятнадцати часов при равномерном течении происходило постепенное перераспределение частиц ильменита, что привело к чередованию участков с относительно высоким содержанием тяжелых частиц с участками, характеризующимися низкими их значениями. Спустя 30 часов от начала опыта, форма кривой запасов приобрела вид параболы, вершина которой соответствует максимуму запасов металла. Смена режима потока на паводочный привела к смещению основного количества металла (более 60%) ниже по течению (рис. 14Б).

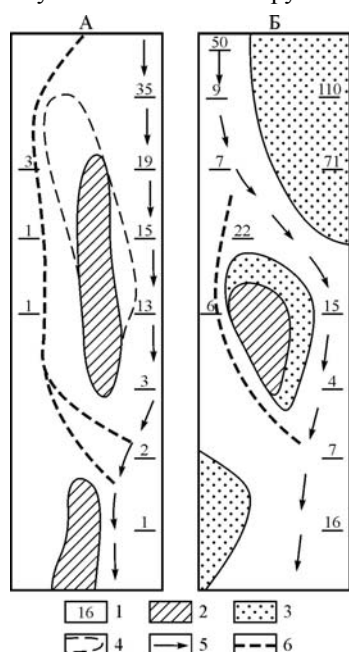
Изменение положения россыпи при смене режима потока подтверждается также изменением соотношения запасов металла по длине модели (табл. 5).

**Таблица 5.** Соотношение запасов металла (в процентах от общих запасов) по длине модели на разных этапах формирования россыпи

Участок	Продолжительность опыта (часы)		
	15	30	33
Верхний и средний	91,8	88	35
Нижний	8,2	12	65

В россыпи, сформированной в течение первого этапа, почти 92% тяжелых частиц накопилось в верхнем и среднем участке русла. После прохождения паводка в нижнее течение сместилось более 60% тяжелых частиц. Результаты опытов показывают, что наиболее существенные перераспределения металла происходят при паводочном режиме потоков.

Опробование в ходе опыта россыпи позволило также установить особенности перемещения частиц тяжелых металлов и связь их распределения с формами русла. Как отмечалось выше, в ходе опытов на верхнем и среднем участках сформировалось относительно прямолинейное неразветвленное и осередковое русло. На нижнем участке отмечалась аккумуляция наносов, что приводило к частой миграции стрежня потока и образованию неустойчивых в плане русловых форм (рис. 15).



**Рис. 15.** Распределение содержания ильменита в россыпи спустя 5 (А) и 15 (Б) часов от начала размыва источника: 1 – содержания ильменита (шт), 2 – осередки и побочки, сформированные до начала размыва источника, 3 – тоже, сформированные в период размыва источника, 4 – отмели, 5 – стрежень, 6 – протоки.

На каждом участке русла создавались специфические условия для транспорта наносов и частиц тяжелой фракции. В относительно прямолинейном неразветвленном русле повышенные содержания металла были приурочены к эрозионной борозде (траншее). После формирования осередка накопление тяжелых частиц произошло в левой протоке. К концу первого этапа произошло переформирование русла. Левая протока перекрылась аллювием, а стрежень сместился к правому борту. Значительное количество тяжелых частиц оказались «погребенными» в левой протоке. Повышенное содержание тяжелой фракции было отмечено также на участке выше при-

верха осередка. Здесь создавались благоприятные условия для накопления частиц тяжелой фракции за счет образования местного подпора воды («бугра» по терминологии Н.И. Маккавеева [1955]). К ухвостью содержания тяжелых частиц резко падали. Кроме того, увеличение содержаний тяжелых частиц отмечалось в рукавах, особенно на участках максимального сужения русла, где увеличение транспортирующей способности потока привело к интенсивному выносу наносов и к концентрации частиц тяжелой фракции. На участке миграции русла происходило постоянное перераспределение частиц тяжелой фракции. Образование русловых форм шло синхронно с их обогащением. В результате связь распределения частиц тяжелых металлов с формами русла проявлялась не так четко.

## 2.9. Закономерности перераспределения металла в процессе эволюции россыпей

При изучении природных россыпей обычно проводится анализ их строения последовательно по отдельным участкам, соответствующим элементарным россыпям – то есть россыпям, сформированным при денудации одного источника. До сих пор остается неясным как происходит дифференциация частиц тяжелых минералов в процессе эволюции элементарных россыпей. Важным моментом также является определение степени зрелости россыпи и ее связи с коренным источником.

Целью исследований явилось изучение эволюции аллювиальных россыпей в процессе развития русловых форм. опыты ставились по следующей схеме. Россыпь в лотке формировалась за счет размыва потоком источника, содержащего частицы тяжелой фракции, включенные в наносы. Источник располагался в верхней части модели. В формирующихся при размыве источника наносах формировалась элементарная россыпь.

Было проведено два опыта, которые отличались по составу наносов. Каждый опыт состоял из трех этапов различной продолжительности – 5, 30 и 60 минут. В первом опыте коренной источник создавался из песчаных наносов со средним диаметром частиц 0,88 мм, во втором – наносы характеризовались более разнородным составом от песчаной размерности до гальки со средним диаметром частиц 2,86 мм. Объем наносов во всех опытах был постоянным и составлял 30 литров. Источник имел призматическую форму. Полезный компонент – 150 г магнетита – помещался в его кровле. Гранулометрический состав магнетита представлен в таблице 6.

**Таблица 6.** Гранулометрический состав магнетита

Размер фракции, мм	≤0,125	0,125-0,25	0,25-0,5	0,5-1,0	1,0-2,0
Вес, г	40	40	40	20	10
Содержание, %	27	27	27	12,5	6,5

На модели воспроизводился поток горного типа, к которым преимущественно приурочены аллювиальные россыпи. Поток в каждом опыте имел постоянный расход 5 л/с, уклон лотка равнялся 0,03, скорость течения 0,7-1

м/с, число Фруда более 1. В течение пяти минут весь объем наносов в источнике размывался потоком и распределялся по длине лотка одновременно с частицами магнетита. Дно лотка выстилалось ковриками из технического войлока, имитирующими значительную шероховатость ложа потока.

На модели воспроизводился механизм формирования россыпи, образующейся при размыве коренного источника и перемещении наносов вместе с частицами тяжелых металлов вниз по долине вплоть до выноса тяжелых частиц в дельту, формирующуюся в замыкающем приемном водоеме. После завершения каждого опыта проводилось опробование сформированной россыпи. Для этого по блокам размером 20x50 см в русле и 10x10 см в дельте снимался слой наносов вместе с осевшими в нем частицами магнетита, для которых определялся их общий вес. Затем проводилось определение веса каждой фракции. По отдельным опытам анализировалось изменение гранулометрического состава по вертикальному разрезу аллювия. Для этого пробы отбирались из нижнего, среднего и верхнего горизонта аллювия. В ходе опытов производились наблюдения за динамикой формирования русла и роста дельты. Таким образом, имелась возможность проследить механизм формирования и эволюции русловой и дельтовой россыпи.

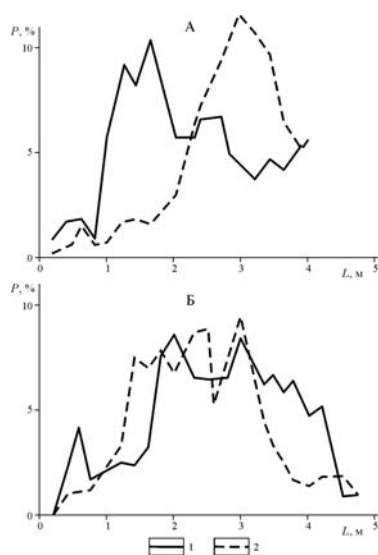
**Эволюция русловой россыпи.** В процессе транспорта песчаных наносов параметры россыпи изменялись. В песчаных отложениях в течение первых 5 минут в россыпи сконцентрировалось 72% магнетита (от общего количества металла), а к 30 минутам осталось 54%. После 60 минутного размыва источника в русловой россыпи осталась только треть запасов магнетита. К этому времени протяженность россыпи увеличилась до 4,6 м.

В опыте с гравийными наносами осуществлялся интенсивный вынос магнетита в течение первых 5 минут (в русловой россыпи осталось лишь 50% от общего его количества) (табл. 7). В течение следующих двух этапов (30 и 60 минут) вынос магнетита за пределы русловой россыпи практически не осуществлялся. Происходило лишь его перераспределение в пределах русловой россыпи.

**Таблица 7.** Изменение характеристик русловой россыпи в зависимости от гранулометрического состава наносов

Состав наносов	Диаметр наносов, мм	Время формирования россыпи, мин.	Длина россыпи, м	Запасы магнетита, % от запасов в источнике
Песчаные	0,88	5	4,0	72
		30	4,6	54
		60	4,2	33
Гравийные	2,86	5	3,8	50
		30	4,4	42
		60	4,6	55

При сравнении графиков распределения общего веса частиц вдоль россыпи в опытах с разным гранулометрическим составом аллювия наибольшие различия наблюдаются для сформированных в течение первых 5 минут первичных россыпей (рис. 16А). В гравийном аллювии россыпь характеризуется кривой распределения с максимумом, расположенным вблизи размывтого коренного источника и имеет крутой угол нарастания и пологий – спада. Россыпь в песчаном аллювии характеризуется также одномадальной кривой, но имеет более симметричную форму кривой запасов. Максимум запасов сдвинут на расстояние около 3 метров от коренного источника. При этом в опыте с песчаным аллювием в пределах русла осталось около 72% тяжелых частиц, а в опыте с гравийными наносами – около 50%.



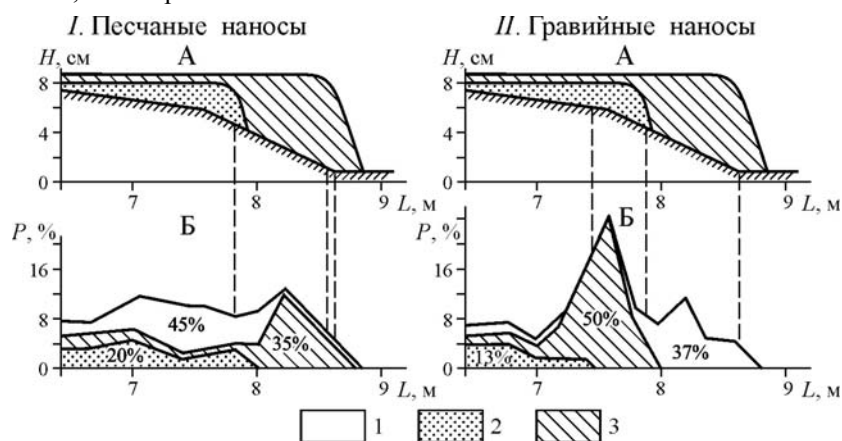
**Рис. 16.** Распределение запасов металла вдоль россыпи после 5 (А) и 60 (Б) минут проведения опытов с разным составом аллювия: 1 – гравийном, 2 – песчаном.

После 60 минут кривые распределения полезного компонента в обоих случаях приобрели сундучную форму (рис. 16Б). Основное отличие заключается в несколько большей длине россыпи в гравийных наносах по сравнению с россыпями, образованными в песчаном аллювии (табл. 7). Распределение полезного компонента в хвостовой части россыпи свидетельствует об интенсивном выносе частиц тяжелой фракции из русловой россыпи, образовавшейся в гравийных наносах. Таким образом, в течение продолжающегося размыва россыпей транспорт тяжелых частиц более интенсивно происходит в крупных наносах.

В зависимости от длительности перемыва в процессе эволюции россыпи после денудации источника, в ее формировании выделяется несколько стадий с различной степенью и типом дифференциации частиц. Диагностическим признаком ранней стадии формирования россыпи является относительно простая форма кривой распределения запасов. В дальнейшем, в процессе перемыва первичной россыпи происходит перераспределение частиц тяжелой фракции. Распределение запасов по длине россыпи характеризуется большой неравномерностью.

**Эволюция дельтовой россыпи.** Проведенные опыты позволили выявить также некоторые закономерности формирования россыпи на устьевом участке русла. Как и в русловой россыпи, формирование россыпи дельты в зависимости от гранулометрического состава наносов, и особенности распределения в ней частиц тяжелых металлов анализировались в течение каждого из трех этапов проведения опыта.

Продольный разрез аллювия дельты, сформированных в разные этапы и процентное соотношение частиц тяжелой фракции, осевших в дельте за каждый этап от их первоначального суммарного веса, показан на рис. 17. В течение I этапа опыта продолжительностью 5 минут количество наносов, поступивших в приемный бассейн при размыве источника, расположенного в начале русловой россыпи, было незначительным, большая их часть отложилась на участке русловой россыпи. В этот этап начала формироваться дельта. В течение II этапа на устьевом участке сформировалась дельта заполнения. В течение III этапа формировалась дельта выдвигения. Интенсивность нарастания дельты в песчаных наносах была значительно больше, чем в гравийных.



**Рис. 17.** Формирование дельт в песчаных (I) и гравийных (II) отложениях: А – на разных этапах развития: время проведения опыта (мин): 1 – 5, 2 – 30, 3 – 60 минут; Б – доля металла в % от общего запаса на каждом этапе: 1 – 5 мин; 2 – продольный разрез дельт, сформированных в разные этапы.

Каждому этапу формирования дельты свойственен специфический режим накопления наносов и частиц магнетита и связанные с ними особенности формирования россыпи. На первом этапе накопление магнетита проходило в условиях постепенной денудации источника до полного его разрушения. Ведущим фактором процесса было стокое течение. В этот период на устьевом участке начала формироваться россыпь. При анализе соотношения запасов в дельте и в источнике (до его размыва) оказалось, что за I этап в дельту с песчаными наносами вынесено в два раза больше частиц



магнетита по сравнению с дельтой, сложенной гравийными наносами (табл. 8; 9). В песчаных наносах доля магнетита составила 20% от общего веса частиц магнетита, накопленного в дельте за весь этап ее формирования. В россыпь, сформированную в более крупных наносах, за первый этап было вынесено всего 12% магнетита.

**Таблица 8.** Количество металла, вынесенного в дельту из коренного источника (за три этапа)

Этапы проведения опыта	Время проведения опыта, мин	Вес металла в дельтовой россыпи, % от веса металла в источнике до размыва	
		Песчаные наносы	Гравийные наносы
I	5	29	12
II	30	47	43
III	60	60	33

**Таблица 9.** Распределение запасов металла в дельте (за три этапа)

Этапы проведения опытов	Время проведения опыта, мин	Вес металла в дельтовой россыпи, % от суммы ПК, накопившегося в дельте за три этапа	
		Песчаные наносы	Гравийные наносы
I	5	20	13
II	30	35	50
III	60	45	37

В течение II этапа в дельту с песчаными наносами было вынесено 47% от общего веса магнетита в источнике, с гравийными наносами – 43%. Количество магнетита в русловой россыпи и в дельте оказалось почти равным.

В течение III этапа россыпь формировалась одновременно с дельтой выдвигания. В этот период происходило отмирание отдельных рукавов, а транспорт частиц магнетита осуществлялся только по основному рукаву. За III этап в дельту было вынесено 60% запасов магнетита от их количества в источнике при формировании россыпи в песчаных наносах и 33% – в гравийных (табл. 8). Доля магнетита в дельте от запаса металла скопившегося в ней за все этапы опыта составила в песчаных наносах 45%, а в гравийных – 37% (табл. 9).

В россыпи сформированной в песчаных наносах происходило последовательное накопление тяжелых частиц в течение всех трех этапов (табл. 9). В потоках с гравийными наносами оптимальные условия для формирования россыпи создавались в течение второго этапа. Это объясняется переработкой наносов в устьевом створе за счет интенсивной эрозии в приустьевой яме, где происходила сепарация тяжелой фракции. Накопление магнетита отмечалось также в верховьях отдельных рукавов. Как показали наблюдения, формирование продуктивного горизонта со значительной концентрацией магнетита было приурочено к бровке основного рукава дельты и происходило синхронно с постепенным трансгрессивным ее перемещением.

ем вниз по течению. Для накопления частиц магнетита в дельте необходимо значительное время. Продолжительность его после размыва источника по существу равна времени формирования русловой россыпи, в течение которого подвижные фракции перемещаются в составе наносов и попадают в дельту. По мере увеличения времени формирования дельты положение центра тяжести россыпи закономерно смещается вниз по течению.

В дельтовой россыпи дифференциация частиц тяжелой фракции по крупности имеет сложный характер (рис. 18). В течение I этапа отмечалась обратная дифференциация – то есть более мелкие частицы откладывались в верхней части дельты, тогда как более крупные смещались на большее расстояние. При более длительном воздействии потока на перенос частиц дальность смещения основной массы частиц всех фракций возрастала в 1,5 раза (II этап). Положение максимумов крупных и мелких частиц к концу III этапа практически совпали. Эти факты свидетельствуют об отсутствии по длине дельты четко выраженного процесса дифференциации частиц по крупности. Исключение составляют частицы наиболее мелкой фракции ( $d \leq 0,1$  мм), которые транспортировались потоком во взвешенном состоянии и осаждались на нижнем участке дельты (рис. 18).

Проведенные эксперименты свидетельствуют о сложной картине распределения запасов в россыпи дельты. Это объясняется в значительной мере механизмом ее образования – трансгрессивным типом нарастания в длину, а также большой динамичностью руслового режима. Последнее обстоятельство связано с колебанием скорости потока. В течение отдельных этапов развития дельты одни рукава ее заполнялись наносами, а активность других, наоборот, возрастала.

#### **2.10. О механизме формирования россыпей из мелкого и тонкого золота**

К одному из мало изученных вопросов россыпеобразования относится вопрос о дальности перемещения и особенностей формирования россыпей из тонкого ( $\leq 0,1$  мм) и мелкого (0,1-0,5 мм) золота. Целью опытов явилось моделирование условий накопления и рассеяния тонкого и мелкого золота в водно-аллювиальной среде при размыве металлоносных толщ разной мощности [Ивочкина, 1987].

В опытах этой серии использовалось шлиховое золото из натуральных россыпей. Уклон продольного профиля потока, формирующего россыпь на модели, составлял 0,03, скорость потока – 0,8-1,2 м/с. Длина россыпи на модели составила 1-4 м, а мощность источника наносов с включенными в них частицами золота, расположенного в долине – от 1 до 10 см. Наносы в опытах были представлены двумя типами: песчаными со средним диаметром частиц 0,88 мм и более крупными – песчано-гравийными со средним диаметром 2,86 мм. При моделировании использовалось золото чешуйчатой формы. Его granulометрический состав представлен в таблице 10.

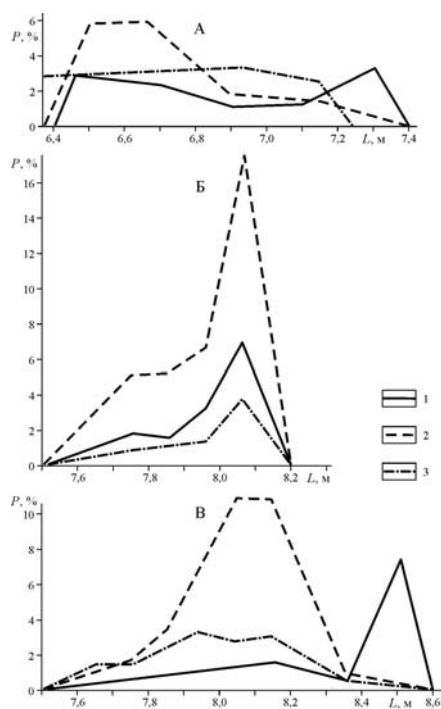
Днище лотка выстилалось техническим войлоком, имитирующим шероховатость плотика россыпи. По окончании опыта русло разбивалось на равные по длине участки, на каждом из которых определялся объем наносов и вес извлеченных из него частиц золота. Результаты оценивались по дальности сноса отдельных фракций золота от размываемого источника и характеру кривых накопления золота. Дальность перемещения частиц золота от источника питания определялась положением центра тяжести россыпи, которое рассчитывалось по формуле (1). Влияние гранулометрического состава наносов на дальность смещения золота исследовалось в двух опытах. В первом из них применялись песчаные наносы, во втором – гравийные. В обоих опытах были одинаковы мощность размываемых наносов и их объем, количество золота, его гранулометрический состав и положение в источнике. Опыты проводились при постоянном режиме потока, который обеспечивал врез по продольному профилю на участке формирования россыпи. С увеличением среднего диаметра наносов в 3 раза расстояние от источника до центра тяжести отдельных фракций золота уменьшалось приблизительно в 1,5 раза (табл. 11). Основной причиной, определяющей положение центра тяжести россыпи в крупном аллювии, явилось увеличение шероховатости ложа потока, которая обусловила значительную его способность задерживать частицы золота. В опыте с песчаными наносами частицы золота свободно транспортировались потоком с гладким ложем на большие расстояния.

В более крупном аллювии отмечалось образование компактной россыпи с одномодальной кривой накопления золота и симметрично расположенными зонами нарастания и спада запасов. В мелком аллювии образовалась более растянутая по длине россыпь с двумодальной кривой накопления. Второй максимум накопления золота образовался за счет мелких фракций ( $\leq 0,25$  мм).

С целью исследования влияния величины твердого стока на транспорт тонкого и мелкого золота было проведено 4 опыта, в которых концентрация наносов последовательно менялась от 30 до 65 г/с/л. При проведении опытов использовались песчаные наносы. По мере роста концентрации наносов расстояние от источника до максимума накопления каждой фракции последовательно увеличивалось (табл. 12). Частицы золота дифференцировались по крупности только в потоках с малой концентрацией наносов, с ее увеличением их дифференциация нарушалась.

Средний диаметр частиц золота составлял 0,26 мм при среднем весе частиц 0,047 мг. В верхней части модели располагался источник, отличающийся по высоте в каждом из опытов. В одних опытах определенная порция золота размещалась в кровле источника, в других равномерно рассеивалась по всей его толще. Высота, объем, гранулометрический состав источника определяли длину россыпи, формирующейся при его размыве.

Для оценки влияния мощности золотоносного горизонта, перерабатываемого потоком, на характер накопления тонкого и мелкого золота в формирующейся при этом россыпи было поставлено три опыта, отличаю-



**Рис. 18.** Распределение запасов на разных этапах эволюции россыпи после 5 (А), 30 (Б) и 60 (В) минут проведения опытов: фракции (мм): 1 – 0,1; 2 – 0,25 – 0,5; 3 – 1,0 – 2,0.

**Таблица 10.** Гранулометрический состав золота

Размер фракций, мм	≤0,1	0,1-0,16	0,16-0,25	0,25-0,5	≥0,5
Содержание фракции, %	16,1	25,5	33,8	21,3	3,3

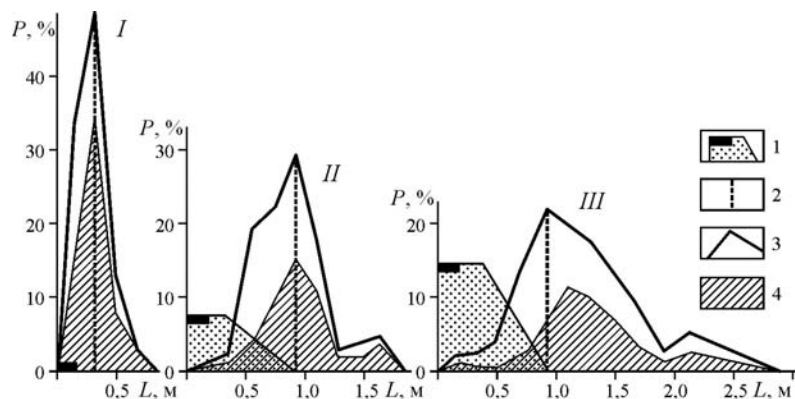
**Таблица 11.** Изменение расстояния (м) от источника до центра тяжести фракций золота в опытах с разной крупностью наносов

Средний диаметр наносов, мм	Расстояние (м) от источника			
	Фракции золота, мм			
	≤0,1	0,1-0,25	0,25-0,5	≥0,5
0,88	2,21	2,1	1,64	1,23
2,86	1,43	1,2	1,07	0,85

**Таблица 12.** Дальность смещения частиц золота разных размеров в зависимости от концентрации наносов

Расход наносов, г/см <sup>3</sup>	Расстояние от источника до максимума накопления фракций, м		
	Фракции, мм		
	≤0,1	0,1-0,25	0,25-0,50
30	0,57	0,52	0,50
40	0,95	0,80	0,75
60	1,10	1,04	1,10
65	1,33	1,16	1,32

щиеся величиной размываемой толщи наносов, которая соответственно равнялась 1, 5 и 10 см. (рис. 19).



**Рис. 19.** Накопление мелкого золота при размыве источника разной высоты после I, II и III этапов проведения опыта (Ивочкина, 1987): 1 – источник с металлоносным горизонтом, 2 – положение максимума накопления металла в россыпи, 3 – распределение общих запасов металла по длине россыпи, %; 4 – доля мелкой фракции ( $\leq 0,25$ ) в общих запасах золота в россыпи (%).

При проведении опытов использовались гравийные наносы. В первом опыте вблизи источника сформировалась элементарная россыпь, длина которой равнялась 50 см. Максимум накопления золота располагался в середине россыпи. С увеличением мощности размываемого слоя наносов ( $H=5$  см и  $H=10$  см) длина россыпей увеличилась соответственно до 1,9 и 2,9 м., а максимум запасов сместился с первых десятков сантиметров (в первом) до 100 см (во втором и третьем опытах). Сравнивая характер кривых по отдельным фракциям, нетрудно заметить, что в зоне спада продуктивности кривая постепенно выполаживается (от первого опыта к третьему). Таким образом, морфология сформированных россыпей менялась в зависимости от мощности размываемых наносов. С увеличением размываемой мощности образовались более растянутые по длине россыпи. Это положение подтверждается распределением в россыпи количества золота, накопившегося в зонах нарастания и спада продуктивности. Так, в зоне нарастания (включая максимум продуктивности) в первом случае осело 85%, а во втором и третьем – соответственно 68 и 42% золота. При перемыве значительной мощности наносов в третьем опыте максимум продуктивности россыпи, который составил 22% от общего запаса золота, формировался за счет не только мелкого, но и тонкого золота.

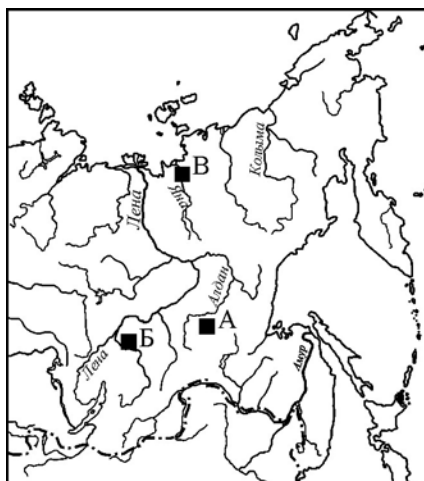
Результаты проведенных экспериментов подтвердили возможность формирования россыпей из мелкого и тонкого золота. Их накоплению способствует ряд условий (морфология частиц, малые уклоны продольного профиля, повышенная шероховатость ложа потока).

Подводя итоги результатов экспериментальных исследований следует отметить, что они охватили широкий круг вопросов, связанных с механизмом формирования россыпей и позволили выявить влияние различных факторов на характер дифференциации частиц тяжелой фракции по длине россыпей и в толще аллювия. Эти результаты, помимо самостоятельного научного значения, использовались при проведении исследований природных россыпей и помогли более глубоко вскрыть некоторые особенности их строения.

### ГЛАВА 3

#### ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РОССЫПЕОБРАЗОВАНИЯ

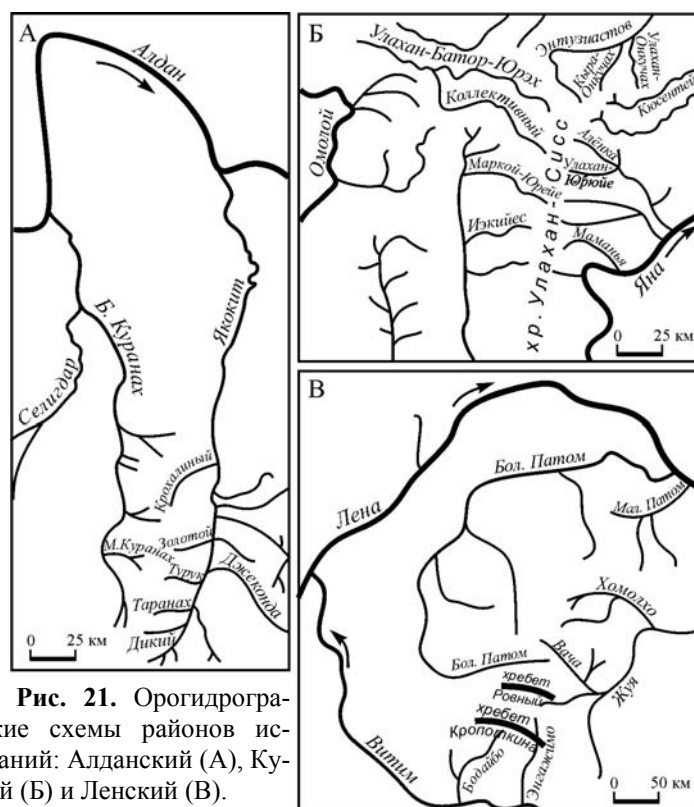
Исследования механизма формирования россыпей и его отражения в их структуре проводились в трех крупных рудно-россыпных районах – Алданском, Куларском и Ленском (рис. 20). Их географическое положение в различных провинциях Восточной Сибири предопределило разные условия и историю формирования россыпесодержащих долин. Алданский район находится на юге Якутии в междуречье рек Селигдар и Якоцит, дренирующих правый борт долины р. Алдана в его верхнем течении. Куларский район расположен на северо-востоке Якутии в 100 км от моря Лаптевых в междуречье рек Яна и Омолой. Ленский район расположен в пределах Патомского нагорья на правом берегу р. Витима.



**Рис. 20.** Районы исследований: Алданский (А), Ленский (Б), Куларский (В).

Добыча золота в Алданском и Ленском районах ведется уже более 150 лет, что определило высокую степень разведанности россыпей. Куларский район относится к районам сравнительно недавнего освоения, которое началось в 60-е годы XX века. Детальная разведка охватила в основном крупные долины, тогда как их притоки слабо изучены. В Алданском районе исследованиями было охвачено более 30 россыпей, сформированных в долине р. Большой Кураны и его притоков и в долинах бассейна р. Якокита – притока р. Алдан (реки Джеконда, Тараных, Золотой, Крохалиный, Дикий и их притоки) (рис. 21А). В Куларском районе были проанализированы практически

все разведанные россыпи погребенных долин, дренирующих западный и восточный борта Улахан-Сисского хребта и относящиеся к бассейнам рек Яны и Омоя. (реки Кюсентей, Мааркой-Юреге, Улахан-Батор-Юрэх, Иэкийес, Улахан и Кара Онкучах, россыпи Энтузиастов и Кристалл) (рис. 21Б). По Ленскому району исследовано более двух десятков россыпей крупных долин рек Вача, Хомолхо, М. Патом, Бодайбо и их притоков (рис. 21В).



**Рис. 21.** Орогидрографические схемы районов исследований: Алданский (А), Курларский (Б) и Ленский (В).

Структурная положение Алданского района определяется его местоположением в пределах Центрально-Алданского поднятия, воздымание которого обусловило длительный этап врезания рек. Современный рельеф носит облик молодого низкогогорья. Коренные породы экспонированы на большей части водоразделов и в верхней половине склонов. Нижние части склонов перекрыты рыхлыми отложениями. Водоразделы представляют собой поверхности выравнивания, над которыми возвышаются гольцовые возвышенности, приуроченные к выходам интрузивных пород. Поверхности выравнивания ступенями понижаются на юг, абсолютные высоты соответственно снижаются от 1000 до 500-600 м. Гольцовые останцы возвышаются



над поверхностью выравнивания на 100-200 м. Наиболее крупные долины III-V порядков ориентированы в субширотном направлении, их притоки I-II порядков имеют субмеридиональное направление течения. Долины глубоко врезаны, имеют небольшую ширину (до 300 м), прямолинейные очертания. Реки, как правило, имеют узкую пойму, широко развиты террасовалы. Днища долин сложены голоценовыми аллювиальными отложениями мощностью до 5 м, к нижним горизонтам которых приурочены россыпи. Формирование аллювиальных россыпей в современных долинах происходило в голоцене в обстановке интенсивной глубинной эрозии и ритмически направленного изменения климата в сторону иссушения и похолодания. Аллювий представлен галечниками, валунами с примесью (до 50-70%) песка и гравия. Коренные породы днищ сложены архейскими гранитами, кембрийскими известняками, кристаллическими сланцами. Оруденение района связано с дифференцированным комплексом мезозойских щелочных интрузивных пород, включающим два стратиграфических горизонта. Нижний (Лебединский тип оруденения) представлен кварц-сульфидными жилами и субгоризонтальными залежами массивных сульфидных руд. Верхний горизонт оруденения (Куранахский тип) включает рудные тела близкого состава, но сильно окисленные и превращенные в рыхлые глинистые образования, выполняющие карстовые воронки и полости. Золото в коренных источниках мелкое. Размеры его в среднем составляют 0,5-1,0 мм. Богатейшие россыпи к настоящему времени уже отработаны. Однако по данным разведочных работ, которые проводились в течение всего времени освоения россыпей, удалось реконструировать морфологию россыпей и особенности их строения. Россыпи относятся к пластовому типу. Они представляют собой хорошо выдержанные ленточные залежи, имеют небольшую ширину, залегают под современным руслом и поймой на коренных породах днища. Россыпи имеют непосредственную связь с коренными источниками и не испытывали переотложения на более низкие уровни.

Совсем иные условия и история формирования россыпей в Куларском районе. Исследованиями здесь были охвачены россыпесодержащие долины древней гидросети, погребенной под мощной толщей рыхлых отложений (едомы) (рис. 21Б). Также как и для современных долин, основным водоразделом погребенной гидросети является Куларский хребет, протягивающийся в субмеридиональном направлении между реками Яной и Омолоем в их нижнем течении. В структурном отношении Куларский район занимает северную периферию Улахан-Сисской мегаантиклинальной структуры, являющейся северо-восточным отрогом Верхоянской горной страны. Коренные породы представлены однообразной черносланцевой толщей верхоянского комплекса. Дифференцированные движения с конца палеогена обусловили опускание Приморской низменности на фоне унаследованного воздымания Улахан-Сисской антиклинали. Разломы и зоны трещиноватости, нарушающие залегание сланцевых пород, характеризуются двумя основными направлениями – субширотным и субмеридиональным. Первые являются рудопр-

водящими, разбивают структуру с севера на юг на ряд крупных блоков и определяют заложение основных россыпесодержащих долин. Вторые – определяют границы блоковых ступеней, нередко контролируют заложение притоков основных долин. Погребенная речная сеть района исследований по своему рисунку принципиально не отличается от современной. Основные долины расположены в субширотном направлении, их верховья начинаются на водораздельном хребте. В некоторых случаях наблюдаются незначительные смещения в плане современных долин относительно древних. Погребенные долины, также как и в Алданском районе, сформированы реками III-V порядков, но имеют большую протяженность и значительно меньшие уклоны. Ширина их также значительно больше, чем в Алданском районе, и в среднем достигает 1,0 км. Погребенные долины глубоко врезаются в коренные породы. В период формирования россыпей рельеф погребенной территории, реконструированный по данным геофизической и поисковой разведки, также как и в Алданском районе, имел облик низкогорья. Условия формирования долин определялись двумя основными факторами – их положением в пределах антиклинали, испытывающей направленное поднятие, и близостью к основному базису эрозии – морю Лаптевых. Поднятие антиклинали явилось решающим моментом в формировании долин на верхних и средних участках течения. Влияние второго фактора – повышенный базис эрозии вследствие трансгрессий моря Лаптевых – сильнее проявлялось в нижнем течении рек. В истории формирования погребенных долин и аллювиальных россыпей выделяется два эрозионных цикла. В первый из них – Омолойский (палеоген – ранний неоген) – происходит активизация тектонических движений, приведшая к интенсивному врезанию рек в золотоносные коренные породы. Формирование россыпей осуществлялось в условиях теплого влажного климата. В конце палеогена – начале неогена в древних долинах происходила мощная аккумуляция наносов и погребение россыпей омолойского возраста. Второй этап россыпеобразования (Темирдэхский) связан с эрозионным циклом в позднем неогене – раннем плейстоцене, характеризующимся усилением тектонических движений. Врезание рек привело к перемыву галечников, отложившихся в первую стадию, и формированию богатых пластовых россыпей темирдэхского возраста. Фрагменты россыпей Омолойского этапа сохранились лишь локально в нижнем течении рек, текущих на север. Темирдэхский этап характеризуется более холодным климатом, чем Омолойский, хотя и в это время он оставался сравнительно теплым и влажным. Коренные источники россыпей относятся к кварц-малосульфидной формации, характеризующейся очень мелкими выделениями золота. Россыпи в основном локализованы в днищах погребенных долин, относятся к пластовому типу. Их ширина значительно больше, чем в Алданском районе.

Наиболее сложные условия локализации и истории формирования россыпей характерны для Ленского рудно-россыпного района, занимающего северо-восточную периферию Байкальской рифтовой зоны. Территория Ленского района в области Патомского нагорья представлена крупными складча-

тыми структурами – Бодайбинской синеклизой, Вачской синклиналию, Кропоткинской антиклиналью, имеющими субширотное заложение. Крупные структуры осложнены многочисленными складками более низкого ранга. Тектонический план территории характеризуется двумя основными направлениями разрывов и зон трещиноватости: субмеридиональным и субширотным. Структурный план определяет рисунок гидросети. При этом даже крупные долины, например, рек Хомолхо, Вачи, Малого Патома, Бодайбо часто характеризуются резкими коленообразными поворотами с переходом от субмеридионального к субширотному направлению течения (рис. 21В).

Коренные породы района представлены сильно дислоцированными многочисленными свитами и подсвитами среднего и позднего протерозоя разнообразного литологического состава: сланцами, аргиллитами, песчаниками и известняками. Россыпесодержащие долины разных порядков (II-VII) глубоко врезаны и имеют сложное строение. Рельеф долин представлен комплексом разновозрастных террас и днищем, на которых залегают россыпи соответствующих возрастных генераций. Россыпи пластового типа приурочены к погребенным аллювиальным отложениям, перекрытым отложениями флювиогляциального и гляциального генезиса, заполнявшими долины в эпохи оледенений.

Формирование россыпей осуществлялось в течение нескольких эрозионных циклов, характеризующихся различными климатическими условиями. Заложение долин произошло в раннем плейстоцене, к которому относится первый цикл россыпеобразования – Ленский. Россыпи раннеплейстоценового возраста залегают на высоких террасах и в днищах глубоко врезанных погребенных долин. Россыпеобразование в этот период происходило в условиях теплого и влажного климата. Господство теплолюбивых ландшафтов определило охристый цвет аллювия. Похолодание в начале среднего плейстоцена определило смену окраски аллювия в сторону серой гаммы, которая с различными вариантами присутствует во всех более поздних отложениях долин. В течение плейстоцена на фоне общего похолодания и иссушения климата происходило чередование периодов оледенений, в течение которых долины заполнялись мощными толщами отложений гляциального и флювиогляциального генезиса, с эпохами межледниковья, когда возобновлялась эрозионная деятельность потоков и происходило их врезание в коренные породы. С этими эрозионными циклами связаны эпохи россыпеобразования, которые осуществлялись в среднем плейстоцене (Ныгринский цикл) и в верхнем плейстоцене (Иллигирский цикл). Россыпи Ныгринского и Иллигирского циклов также являются погребенными – они локализованы в днищах и на террасовых уровнях, перекрыты более поздними отложениями различного генезиса.

Россыпи Ленского района имеют гораздо больше морфологических модификаций, которые определяются сложной морфологией долин. Особенно это характерно для долин рек относительно высоких (V-VII) порядков. Реки характеризуются неоднократной сменой различных морфодина-

мических типов русел и их сложной эволюцией в течение всей истории формирования россыпей. Питание россыпей Ленского района осуществлялось за счет многочисленных коренных источников, представленных золото кварцевой и золотосульфидной формациями. В отличие от Алданского и Куларского районов крупность рудного золота в Ленском районе весьма высока, вплоть до уникальных самородков. В то же время широко развит прожилково-вкрапленный тип оруденения в толщах пиритизированных сланцев и алевролитов, поставляющих в долины мелкое золото.

Россыпи исследованных районов формировались в разных климатических и геолого-геоморфологических условиях. Они представлены россыпями погребенной гидросети, погребенными россыпями с унаследованным типом формирования долин и современными типами россыпей; залегают на различных геоморфологических уровнях, питались за счет коренных источников разных рудных формаций, определивших различную крупность поступающего в долины металла. Неодинаковы были количество и продолжительность этапов россыпеобразования. В то же время общим для них является то, что они относятся к пластовому типу, формировались в долинах низких и средних порядков, имеющих относительно близкий диапазон морфометрических показателей. Различия геолого-геоморфологических условий в районах исследований были благоприятны для выявления общих закономерностей строения россыпей, обусловленных русловыми процессами.

## ГЛАВА 4

### ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗОЛОТА И ЕГО ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ В ПРОЦЕССЕ ТРАНСПОРТА В РУСЛОВЫХ ПОТОКАХ

#### 4.1 Гранулометрический состав золота в россыпях

Механизм и особенности перемещения частиц золота русловыми потоками во многом определяются его гранулометрическим составом в каждом конкретном россыпном районе. Для исследования особенностей строения россыпей, связанных с деятельностью русловых процессов, на основании ситовых анализов, которые выполняются при проведении геологоразведочных работ, проанализирован гранулометрический состав и особенности дифференциации золота в россыпях районов исследований. Большим преимуществом ситовых анализов является их массовость. Они проводятся из проб, взятых при бурении почти каждой разведочной линии, и позволяют получить объективные характеристики гранулометрического состава золота и его изменений в зависимости от разных факторов. Для каждой россыпи определялся средневзвешенный диаметр частиц золота, преобладающая фракция, процентное содержание мелких фракций от общего веса пробы. При определении гранулометрического состава россыпей использовалась наиболее широко принятая в настоящее время классификация Н.А. Шилов [2000]. Согласно ей частицы золота диаметром менее 1,0 мм относятся к весьма мелкому золоту, диаметром 1,0-2,0 мм – к мелкому, диаметром 2,0-4,0 мм – к среднему и более 4,0 мм – к крупному золоту. Однако технические условия проведения ситовых анализов в районах исследований (по градациям размеров частиц 2,0-3,0 и 3,0-5,0 мм) определили необходимость уточнения этой классификации. К крупному золоту отнесены частицы диаметром более 3 мм.

Несмотря на различия рудных формаций, гранулометрический анализ золота представлен преимущественно весьма мелкими, мелкими и средними частицами с диаметром до 3 мм (табл. 13).

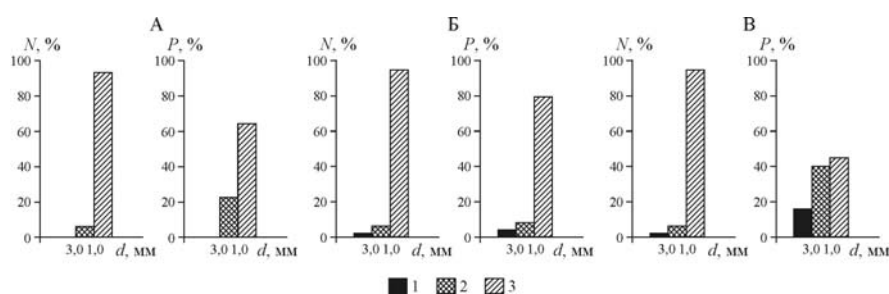
**Таблица 13.** Гранулометрический состав частиц золота в россыпях районов исследований.

Район	Средняя крупность золота, мм	Преобладающие фракции, мм		Содержание фракций < 3,0 мм, % от веса
		Размер, мм	Содержание, % от веса	
Алданский	0,8	0,25 – 0,5	60,4	97,5
Куларский	1,3	0,5 – 1,0	53,0	87,4
Ленский	1,9	1,0 – 2,0	46,0	81,7

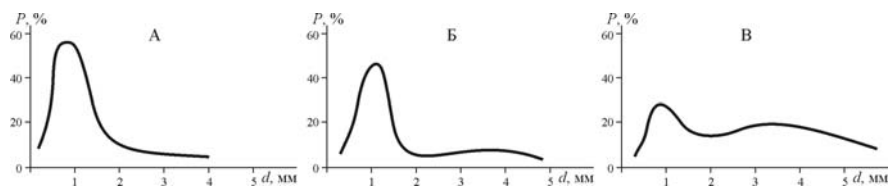
Весьма мелкое и мелкое золото является преобладающим в россыпях Алданского и Куларского районов, коренные источники которых составляют в долину частицы небольшой крупности (рис. 22, 23). Средний диаметр частиц не превышает 1,5 мм, для большинства россыпей он меньше 1,0 мм. Частицы с диаметром от 0,25 до 1,0 мм, составляют больше полови-

ны от общего веса металла. Содержание крупных частиц очень невелико, в россыпях Алданского района они практически отсутствуют.

Россыпи Ленского района, не смотря на то, что коренные источники поставляли в долины более крупные частицы золота, вплоть до самородков, в основном также представлены мелким и весьма мелким золотом (рис. 22, 23). Однако благодаря поступлению более крупных частиц золота несколько увеличивается размер преобладающей фракции (1,0-2,0 мм). Также как в Алданском и Куларском районах, запасы металла определяются частицами золота крупностью до 3,0 мм, но содержание крупных частиц значительно возрастает.



**Рис. 22.** Диаграммы процентного содержания числа частиц (N) и их суммарного содержания (P) в россыпях Алданского (А), Куларского (Б) и Ленского (В) районов: размер фракций: 1 –  $\geq 3,0$ ; 2 – 3,0-1,0; 3 –  $\leq 1,0$  мм.



**Рис. 23.** Типичные кривые гранулометрического состава частиц золота в россыпях районов исследований: Алданского (А), Куларского (Б) и Ленского (В).

Крупные частицы диаметром  $\geq 3,0$  мм играют небольшую роль в запасах золота в россыпях районов исследований. Соотношение крупных и мелких частиц можно продемонстрировать данными, полученными при анализе крупности золота в объединенных пробах россыпи р. Кристалл (Куларский район) и р. Вачи (Ленский район) (табл. 14).

**Таблица 14.** Соотношение количества частиц (шт.) разной крупности по данным объединенных проб в россыпях

Размер фракций	$\geq 3,0$ мм	3,0-1,0 мм	$\leq 1,0$ мм
Россыпь Кристалл	10	511	6 900
Россыпь р. Вача	6	1140	34870

На каждую крупную частицу металла приходится на два-три порядка больше мелких частиц. Хотя вес каждой мелкой частицы составляет первые миллиграммы, суммарный их вес из-за большого количества превышает вес крупных частиц. Эти частицы определяют богатство россыпей и распределение продуктивности по их длине и ширине, т.е. именно им принадлежит определяющая роль в формировании россыпей. Незначительная роль крупных фракций в формировании россыпей подтверждается также данными ситовых анализов для нескольких участков россыпи р. Бодайбо Ленского района с параллельным определением содержания золота в пробе (табл. 15).

**Таблица 15.** Соотношение количества проб с разным содержанием золота и среднего диаметра частиц

Вид концентраций	Содержания металла мг/м <sup>3</sup>	Количество проб		Средний диаметр частиц золота (мм)
		Число проб	% от общего количества	
Экстремальные	>5,0	28	6,0	2,46
Рядовые	5,0 – 0,121	400	86,2	1,25
Шлейфовые	<0,121	36	7,8	0,86

Эти характеристики в отдельных случаях устанавливаются при проведении геологоразведочных работ для выбора оптимальной густоты разведочных скважин. При этом по значениям содержания металла пробы подразделяются на экстремальные, рядовые и шлейфовые. Уже само их название позволяет оценить встречаемость проб с этими содержаниями в россыпях. На исследуемых участках преобладают рядовые концентрации, тогда как пробы с экстремальными содержаниями металла встречаются крайне редко.

В формировании рядовых концентраций основная роль принадлежит мелким частицам золота, о чем свидетельствует средний диаметр частиц. Увеличение среднего диаметра частиц золота в пробах с экстремальными значениями содержаниями почти в два раза свидетельствует о том, что резкое увеличение содержаниями связано с наличием крупных частиц. Возможно, их эпизодическое распространение в россыпи связано со случайным процессом высвобождения в результате разрушения гальки при переносе ее русловыми потоками. Случайность этого процесса понимают и специалисты-геологи, которые при подсчете запасов не принимают во внимание экстремальные концентрации, так как они искажают объективную картину распределения золота в россыпях.

Проведенный анализ позволяет сказать, что золото в россыпях районов исследований в основном представлено мелкими и весьма мелкими частицами. Крупные мало подвижные частицы диаметром  $\geq 3,0$  мм играют небольшую роль в распределении золота. Анализ гранулометрического состава золота по литературным источникам показывает, что преобладание в россыпях мелких частиц золота представляет наиболее типичную картину и характерно для большинства россыпных районов. Так, в россыпях Тимптонского, Певекского районов преобладает мелкое золото диаметром от 0,5 до 2,0 мм

[Шило, 2000, Избеков, 1985]. В россыпях Аллах-Юнского района [Самусиков, Цабул, 1972], Енисейского кряжа, Восточного Саяна [Осадчий, 1984], Кузнецкого Алатау, Вилуйского района [Избеков, 1985], Среднего и Южного Урала, Севера Чукотки, Забайкалья [Григорьев, Хмелева, 1978] также преобладает весьма мелкое золото (до 1,0 мм). Как исключение, в некоторых районах отдельные россыпи сложены в основном крупными частицами золота. Так, в ряде россыпей Яно-Колымского пояса частицы размером от 4.0 мм и больше составляют около 60-70% от общего веса металла и определяют запасы россыпи [Шило, 2000]. Такой же уникальной крупностью характеризуются и некоторые россыпи Ленского золотоносного района (россыпи рек Догадлин, Маракан). По-видимому, разница в размере преобладающих в россыпях фракций металла и привела к существованию противоположных взглядов на возможность переноса золота русловыми потоками и подбору противоречивых фактов, подтверждающих ту или иную точку зрения. В зависимости от гранулометрического состава поступающего в реки золота, закономерности формирования россыпей будут значительно меняться. Крупные частицы могут поступать в россыпи со склоновыми отложениями, при непосредственном размыве коренного источника в днище, в результате высвобождения при разрушении гальки. Однако их перенос в русловом потоке ограничен. В большинстве случаев они откладываются на участках поступления. Мелкие частицы золота являются одним из компонентов тяжелой фракции аллювия и подчиняются общим закономерностям транспорта наносов. Возможность их перемещения в русловых потоках подтверждается натурными наблюдениями, экспериментальными и расчетными методами. Соответственно с этим россыпи могут быть подразделены на два типа: 1) россыпи, образованные малоподвижными частицами ( $\geq 3,0$ мм), закономерности строения которых слабо связаны с деятельностью русловых потоков; 2) россыпи, сложенные средними, мелкими и весьма мелкими частицами металла, транспорт и аккумуляция которых обусловлены русловыми процессами. По аналогии с руслообразующими фракциями аллювия мы предлагаем называть мелкие частицы металла «россыпеобразующими», так как именно им принадлежит основная роль в формировании структуры таких россыпей.

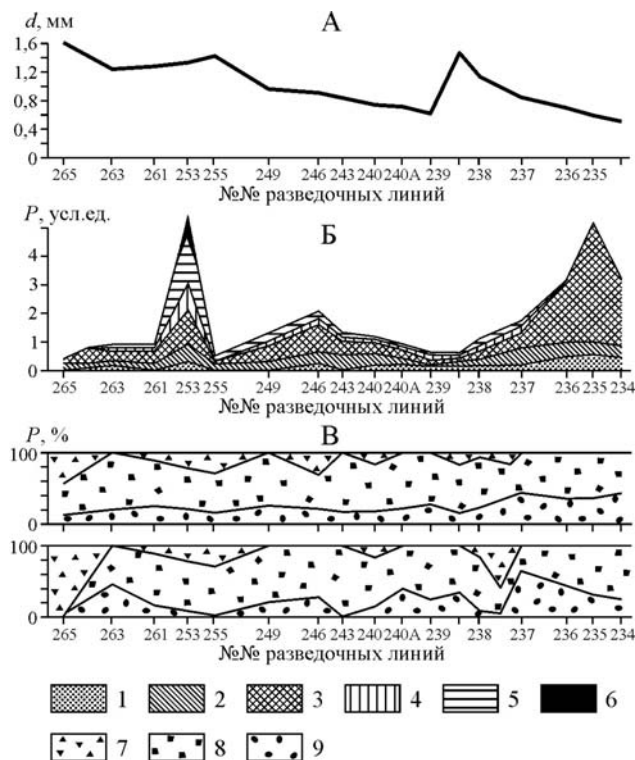
#### **4.2. Особенности дифференциации частиц золота по длине рек**

Отражением процесса переноса частиц золота русловыми потоками является дифференциация частиц по крупности, выраженная в изменении гранулометрического состава металла по длине долин и в системе гидросети. Целью проведенных исследований было выяснение вопроса, подчиняются ли частицы золота общим закономерностям формирования наносов или ведут себя независимо от них. Эти закономерности сводятся к следующим основным положениям: по длине водотоков с уменьшением продольного уклона и увеличением их протяженности наблюдается измельчение частиц аллювия [Маккавеев, 1955; Шанцер, 1965; Лунев, 1967; Чистяков, 1978]. Для горных водотоков характерна высокая степень дифференциации



осадков вдоль русла. Большое влияние на изменение крупности аллювия по длине водотоков оказывает чередование сужений и расширений дна долины, впадение притоков. Эти закономерности были подтверждены и для тяжелой фракции аллювия [Лазаренко, 1964, Осовецкий, 1986].

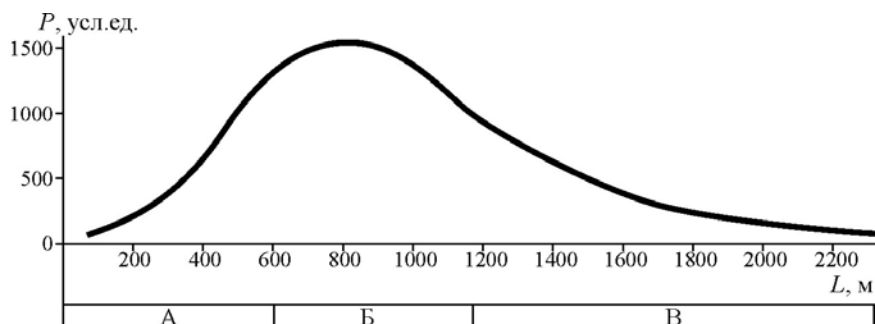
Для исследования закономерностей дифференциации частиц золота последовательно сверху вниз по течению по каждой разведочной линии анализировались графики изменения среднего диаметра частиц и интегральные графики доли содержания каждой фракции в запасе металла. Результаты проведенного анализа показывают, что также как и для аллювиальных отложений, крупность частиц золота закономерно снижается по длине рек (рис. 24А). На интегральных графиках распределения продуктивности россыпи по длине реки показано участие частиц разных фракций в формировании продуктивности по каждой разведочной линии (рис. 24Б).



**Рис. 24.** Изменение характеристик частиц золота по длине россыпи: средневзвешенный диаметр частиц золота (А), интегральный график доли фракций золота разных размеров в запасе золота (Б), распределение частиц золота разной окатанности (В): размер фракций: 1 ≤ 0,25 - 0,25; 2 - 0,25 - 0,5; 3 - 0,5 - 1,0; 4 - 1,0 - 2,0; 5 - 2,0 - 3,0; 6 - 3,0 - 5,0; окатанность частиц золота: 7 - слабоокатанные, 8 - плохоокатанные, 9 - окатанные.

В начале россыпи наблюдается примерно одинаковое соотношение частиц разной крупности, отмечается небольшой процент частиц диаметром  $\geq 3,0$  мм. Ниже по течению в формировании россыпи постепенно возрастает участие мелких фракций ( $\leq 1$  мм). В нижнем течении резко увеличивается содержание фракции размером 0,5-1,0 мм. Эти факты свидетельствуют о процессе дифференциации частиц золота по крупности при их транспорте русловыми потоками.

Особенности процесса дифференциации частиц золота особенно ярко проявляются при сравнении закономерностей изменения продуктивности и гранулометрического состава золота по длине элементарных россыпей. Понятие «элементарной россыпи» было предложено Б.В. Рыжовым [1968] для россыпей, сформированных за счет поступления металла из одного источника. Распределение продуктивности по их длине на графиках характеризуется кривой синусоидальной формы (рис. 25).



**Рис. 25.** Изменение продуктивности ( $P$ ) по длине элементарной россыпи ( $L$ ) в зонах нарастания (А), накопления (Б) и спада (В) продуктивности.

Ее восходящая ветвь соответствует зоне нарастания продуктивности, максимум – зоне накопления, нисходящая ветвь – зоне спада продуктивности. Длина кривой соответствует протяженности элементарной россыпи, а протяженность зон накопления и спада продуктивности могут варьировать. Элементарные россыпи представляют собой упрощенную модель, позволяющую проследить связь перемещения частиц золота с особенностями русловых потоков. Для исследования этой связи проведен сравнительный анализ изменения продуктивности и гранулометрического состава золота в россыпях районов исследований (табл. 16; рис. 26).

Особенности формирования элементарных россыпей зависят от транспортирующей способности потоков, косвенным показателем которой являются уклоны рек на участках формирования элементарных россыпей. Парно анализировались элементарные россыпи: 1) с одинаковыми уклонами, но разной крупностью золота (Алданский и Ленский районы) и 2) со значительными различиями в уклонах, но близким гранулометрическим

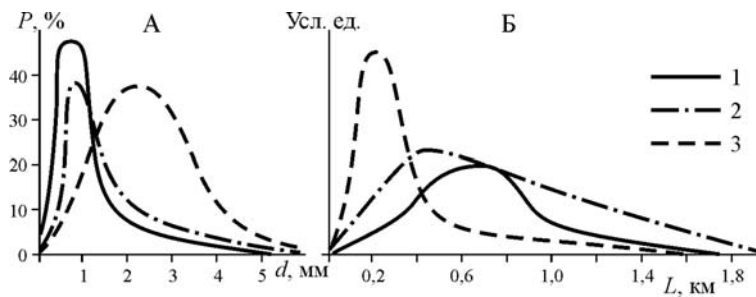
составом золота (Куларский и Алданский районы). Протяженность элементарных россыпей характеризует дальность смещения частиц золота, а расстояние до максимума обогащенности – интенсивность нарастания продуктивности и дальность смещения основной массы золота.

Наиболее равномерное распределение продуктивности с постепенным нарастанием и снижением свойственно россыпям, сложенным мелким металлом и образованным в долинах с небольшими уклонами (Куларский район). В этом случае крупные малотранспортабельные частицы ( $\geq 3,0$  мм), доля которых от общего количества металла невелика, откладываются на участке поступления, формируя зону нарастания запасов, тогда как частицы средней (1,0-3,0 мм) и мелкой (1,0-0,5 мм и  $\leq 0,5$  мм) крупности образуют, соответственно, зоны накопления и спада продуктивности. С увеличением уклонов дальность смещения основной массы частиц диаметром 0,5-1,0 мм увеличивается, а более мелкие частицы уносятся потоком ниже по течению, что определяет более резкое снижение продуктивности в элементарных россыпях Алданского района. При более крупном металле даже при больших уклонах основная масса частиц золота откладывается непосредственно на участке поступления, а мелкие частицы транспортируются ниже по течению. С этим связаны незначительная протяженность, интенсивное нарастание и спад продуктивности в россыпях Ленского района (рис.26). Таким образом, процесс дифференциации металла контролируется крупностью частиц золота и уклонами долин, с которыми связана транспортирующая способность потоков.

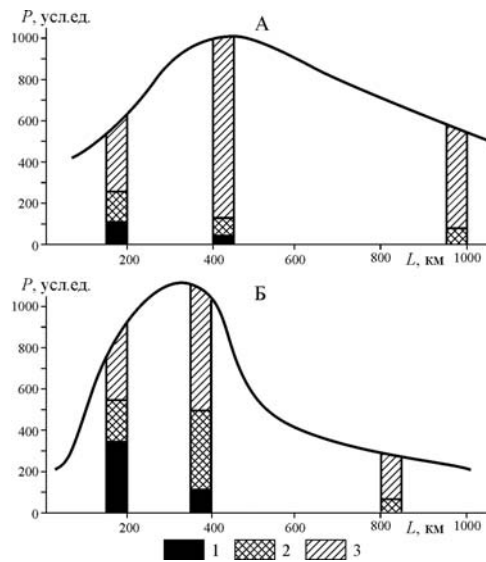
Анализ изменения процентного соотношения частиц разных фракций по длине элементарных россыпей показывает, что процесс дифференциации проявляется в изменении их количественное соотношения. На рис. 27 показаны диаграммы, характеризующие эти соотношения на разных отрезках элементарных россыпей, положение которых определялось несколькими точками, соответствующими зоне поступления металла, зонам накопления и зоне спада продуктивности. В исследуемых районах во всех трех зонах преобладает мелкие частицы металла. Крупные частицы откладываются в основном на участках поступления золота, но и здесь они составляют не более 50% от общего веса золота в пробе. Как правило, между точками максимумов накопления крупных частиц и обогащения элементарной россыпи существует разрыв протяженностью от нескольких десятков до первых сотен метров. По-видимому, здесь можно говорить о разных механизмах отложения частиц, которые были выявлены Б.М. Осовецким [1986] и подтверждены проведенными экспериментальными исследованиями. Крупные частицы осаждаются в начале россыпи под действием гравитационного эффекта. Мелкие частицы быстро проникают в поры между обломками аллювия при спаде паводков или половодья, как на участках поступления, так и ниже по течению, образуя зоны максимума и снижения продуктивности.

**Таблица 16.** Гранулометрический состав золота и параметры элементарных россыпей в районах исследований

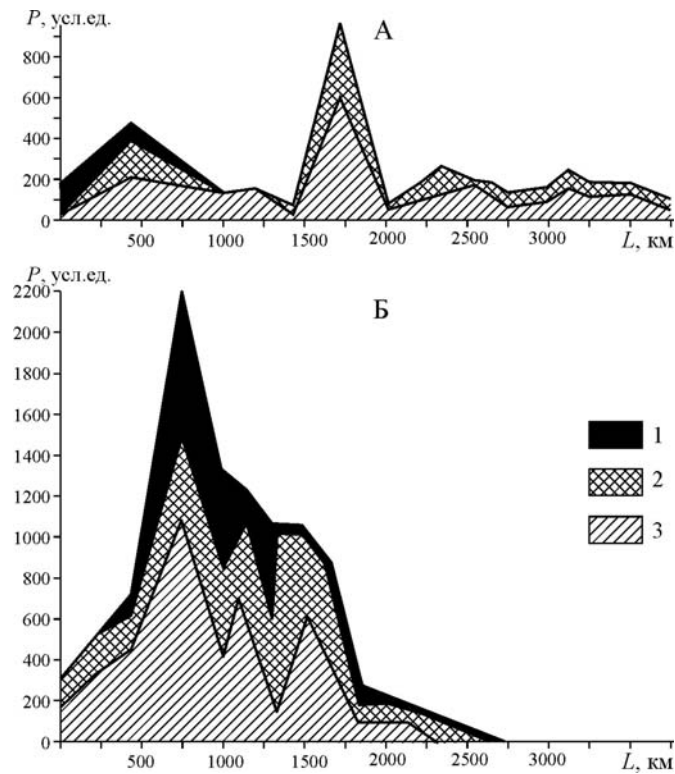
Район	Средние уклоны долин, %	Преобладающая фракция, мм	Параметры элементарных россыпей	
			Протяженность, км	Расстояние до максимума продуктивности, м
Алданский	30	0,25-0,5	2,2	450-500
Куларский	7	0,5-1,0	2,0	250-400
Ленский	30	1,0- 2,0	1,5	100-300



**Рис. 26.** Кривые гранулометрического состава частиц золота (А) и распределение запасов (Б) по длине элементарных россыпей: районы исследований: 1 – Алданский, 2 – Куларский, 3 – Ленский.

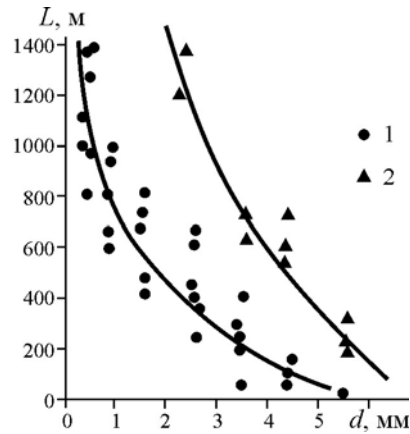


**Рис. 27.** Изменение запасов золота ( $P$ ) и соотношения частиц разных классов крупности (%) по длине элементарных россыпей в Куларском (А) и Ленском (Б) районах: размер частиц золота: 1 –  $\geq 3,0$ ; 2 –  $3,0 - 1,0$ ; 3 –  $\leq 1,0$  мм.



**Рис. 28.** Изменение запасов золота ( $P$ ) и содержания фракций золота по длине россыпей ( $L$ ) в Куларском (А) и Ленском (Б) районах: размер фракций: 1 – 5,0-3,0; 2 – 3,0-1,0; 3  $\leq$  1,0 мм.

О неодинаковой способности частиц разной крупности к перемещению в зависимости от транспортирующей способности потоков, свидетельствует также тот факт, что в россыпях Куларского района с небольшими уклонами крупные частицы диаметром  $\geq 3,0$  мм практически не перемещаются вниз по долине (рис. 28А). В Ленском районе с более крутыми уклонами они прослеживаются в небольших количествах практически по всей длине россыпи (рис. 28Б). Наблюдается четкая зависимость дальности смещения частиц от их диаметра (рис. 29). Основная часть крупных частиц даже в Ленском и Алданском районах с крутыми уклонами долин, испытывают небольшие смещения. Средняя дальность их переноса составляет 200-400 м. Ниже по течению осуществляется массовый перенос более мелких фракций, что сопровождается закономерным увеличением их процентного содержания.



**Рис. 29.** Зависимость дальности переноса частиц золота ( $L$  м) от диаметра частиц золота ( $d$  мм): районы: 1 – Куларский, 2 – Ленский.

Таким образом, по длине россыпей процесс дифференциации металла по крупности проявляется достаточно четко, а его интенсивность зависит от транспортирующей способности потоков. Соответственно крупность частиц золота, несмотря на различия первоначального гранулометрического состава, в целом уменьшается вниз по течению. Нарушение этой закономерности связано с подпиткой россыпи за счет поступления новых порций металла.

#### 4.3. Дифференциация частиц золота в системе гидросети

Процесс дифференциации частиц золота по крупности отражается и на изменении гранулометрического состава золота в пределах гидросети. Детально этот процесс удалось проследить на примере Алданского района. Разведка россыпей здесь проводилась еще в начале XX столетия. При этом для бассейна р. Якокита выполнялись уникальные исследования – определялись вес и число частиц золота по каждой проходке с интервалом по высоте скважин в 0,25 м. Частицы в первичной документации подразделены на три класса крупности: I - наиболее крупные весом более 5 мг и диаметром более 1,2 мм, II – средние, весом от 5,0 до 1,0 мг и диаметром от 1,2 до 0,5 мм и III – мелкие, весом менее 1,0 мг и диаметром меньше 0,5 мм. Общее количество проб, превышало 50000. В результате анализа определено процентное содержание количества и веса частиц разных классов крупности от общего количества и веса золота в россыпях. Расположение россыпей в горных и полугорных долинах, принадлежащих к одному бассейну, позволило проследить процесс дифференциации полезного компонента по крупности в системе гидросети. Наблюдается снижение количества крупных частиц от россыпей горных долин к полугорным (табл. 17, рис. 30).

Процесс дифференциации отражается и на изменении среднего веса частиц полезного компонента, слагающего россыпи, что объясняется отложением более крупных частиц в горных долинах и выносом мелких частиц в долины более высоких порядков. Дифференциация отражается и в весовом соотношении частиц разной крупности – в россыпях горных долин вес крупных частиц составляет до 40% от общего веса металла, тогда как в полугорных долинах основные запасы металла обусловлены накоплением мелких частиц, которые составляют до 90%.

Таким образом, в процессе транспорта частиц золота в системе речной сети от горных притоков низких порядков в долины полугорных рек, а также по длине россыпей в целом и по протяженности элементарных россыпей осуществляется их дифференциация, особенности которой определяются сочетанием крупности поступившего в долины золота и гидродинамическими показателями потоков. Процесс дифференциации отражает условия транспорта частиц золота. В русловом потоке в соответствии с его транспортирующей способностью происходит гидравлическая сортировка поступившего золота. Если транспортирующая способность потоков ниже, чем требуется для переноса частиц, то они не будут перемещаться и произойдет накопление золота непосредственно на участках поступления (что и происходит с наиболее крупными фракциями). Если транспортирующая способность выше, то частицы золота выносятся в долины более высоких порядков.

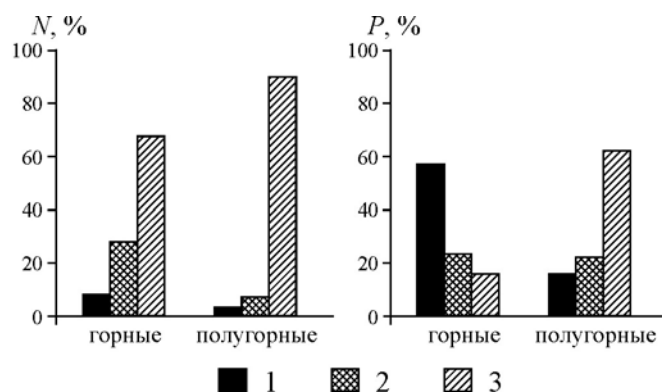
#### **4.4. Изменение морфологии частиц золота по длине долин.**

Косвенными признаками, доказывающими перенос частиц золота русловыми потоками, являются изменения морфологии и окатанности частиц золота по длине рек.

В процессе переноса от источника в долину частицы золота, как правило, проходят элювиальную и делювиальную стадии, сохраняя первоначальную изометричную форму. Частицы золота, попадая в русловые потоки и перемещаясь в составе наносов, истираются, обминаются и становятся окатанными. В верхней части россыпи преобладают плохо окатанные частицы (рис. 24В). Вниз по течению окатанность закономерно возрастает, начинают преобладать пластинчатые частицы, которые, как было выявлено в эксперименте благодаря парусному эффекту проходят более длинный путь по сравнению с изометричными частицами. Таким образом, в результате истирания и сортировки частиц по гидравлической крупности, их окатанность и количество пластинок увеличивается вниз по течению. Такая закономерность достаточно четко проявляется в россыпях долин низких порядков, тогда как в крупных полугорных долинах она постоянно нарушается за счет поступления новых порций металла со склонов, из притоков и при непосредственном размыве рудопроявлений в коренных днищах долин. Процесс окатывания частиц проявляется не для всех фракций. Частицы диаметром  $\leq 0,25$  мм остаются плохо окатанными на протяжении всей россыпи. Они переносятся во взвешенном состоянии и менее подвержены соударениям.

**Таблица 17.** Число частиц разных классов крупности и их суммарный и средний вес в россыпях горных и полугорных долин

Россыпесодержащие долины	Количество частиц по классам крупности, %			Суммарный вес частиц по классам крупности, %			Средний вес частиц, мг
	I	II	III	I	II	III	
Горные	11,8	15,3	72,9	40,6	32,1	27,3	1,4
Полугорные	1,1	8,1	90,8	17,2	26,9	55,9	0,46



**Рис. 30.** Диаграммы средних значений содержаний частиц золота и их суммарного веса ( $P$ ) по классам крупности в россыпях горных и полугорных долин: размеры частиц золота (мм): 1  $\geq 3,0$ ; 2 – 3,0 - 1,0; 3  $\leq 1,0$ .

Дополнительным показателем закономерного нарушения процесса дифференциации частиц по длине рек за счет поступления золота является изменение пробности золота. Резкие изменения морфометрических и морфологических характеристик частиц золота и их пробности, как правило, происходят синхронно с увеличением крупности частиц золота и указывают на поступление в россыпь новых порций металла.



## ГЛАВА 5

### РОЛЬ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В РАЗМЕЩЕНИИ И МОРФОЛОГИИ РОССЫПЕЙ

#### 5.1. Типы рек в рудно-россыпных районах, их морфометрические и морфологические характеристики

Аллювиальные россыпи золота формируются в долинах горных и полугорных рек, что помимо благоприятной металлогенической обстановки горных областей и непосредственной связи россыпей с коренными источниками, объясняется особенностями русловых процессов и движения наносов. Характерной особенностью горных и полугорных рек является большая транспортирующая способность потоков, обуславливающая перемещение частиц золота. Высокая кинетичность потоков ( $Fr \geq 1$ ) способствует интенсивному перемыву отложений и концентрации частиц золота в нижних горизонтах аллювия.

Особенности проявления русловых процессов зависят от уклона реки, расхода воды, формы перемещения и крупности наносов. Эти факторы меняются в зависимости от конкретных природных условий, определяя различия в гидравлических характеристиках потоков, типах русловых процессов и морфодинамических типах русел, с которыми связаны особенности транспорта наносов, в том числе и частиц золота. Различия в проявлении русловых процессов в зависимости от этих факторов обуславливают особенности механизма формирования россыпей, которые отражаются в их локализации в долинах, продуктивности и морфологии.

**Таблица 18.** Типы речных русел горных рек и соответствующие им значения уклонов и числа Фруда [Маккавеев, Чалов, 1986]

Типы русла	Интервалы уклонов у рек с площадью бассейна, %			Число Фруда
	$\geq 100 \text{ км}^2$	10-100 $\text{км}^2$	$\leq 10 \text{ км}^2$	
Равнинное	$\leq 0,5$	$\leq 6-7$	$\geq 14-15$	$\leq 0,1$
Полугорное	0,5÷5-6	6-7÷25-26	14-15÷40-50	0,1-0,3
Горное:				
а) с развитыми аллювиальными формами (грядовое)	5-6÷15-16	25-26÷55-60	40-50÷70-80	0,3-0,8
б) с неразвитыми аллювиальными формами (безгрядовое)	15-16÷23-27	55-60÷100-105	70-80÷120-125	0,8-1,2
в) порожисто-водопадное	$\geq 23-27$	$\geq 100-105$	$\geq 120-125$	$\geq 1-2$

В основу типизации русловых процессов и русел рек положен принцип, предложенный Р.С. Чаловым [Чалов, 1968; Маккавеев, Чалов, 1986; Чалов, 1996] (табл. 18). Позднее классификация была дополнена для

рек с площадью бассейна более 1000 км<sup>2</sup> (Чалов, 2002). Значения уклонов для таких рек изменяются в следующих интервалах: для полугорных рек они составляют 0,3-7‰, для горных рек с развитыми аллювиальными формами – 1,0-14‰; с неразвитыми аллювиальными формами 2,0-20‰. Классификация, предложенная Р.С. Чаловым, основывается на взаимосвязи русловых процессов и их проявлений в виде морфологического строения русел. Каждому типу русла соответствуют определенные диапазоны уклонов, водности рек, площадей бассейна и кинетичности потоков. Интервалы уклонов рек с определенными площадями бассейнов имеют одинаковый диапазон в самых различных районах и определяют особенности проявления русловых процессов и форму движения наносов, в том числе и частиц золота.

По длине рек происходит изменение типов русел: горные русла с неразвитыми аллювиальными формами в верховьях ниже по течению сменяются горными с развитыми аллювиальными формами и полугорными руслами. Такая последовательность может нарушаться в зависимости от литолого-тектонических факторов. С увеличением крутизны продольного профиля, при пересечении поднимающейся структуры на отдельных участках полугорных рек могут сформироваться горные типы русел. Поэтому выделение типов рек при исследовании особенностей строения россыпей проведено с учетом преобладающего по протяженности типа русла.

На основании классификации Р.С. Чалова в районах исследований выделены типы рек с преобладанием русел: горного с неразвитыми аллювиальными формами, горного с неразвитыми и развитыми аллювиальными формами и полугорные. Средние значения их морфометрических характеристик приведены в таблицах 19, 20, 21. Порядок рек определялся по методике Н.А. Ржаницына (1960).

В Алданском районе к первому типу с преобладанием горного с неразвитыми аллювиальными формами типа русла относятся реки I-II порядков небольшой протяженности, имеющие малые площади бассейнов и уклоны, превышающие 80‰ (табл. 19). Для этих рек характерны прямолинейные узкие долины. Пойма и террасы не развиты. Аллювий имеет незначительную мощность (до 3-4 м) и характеризуется преобладанием галечно-глыбового, слабоокатанного материала. Русло имеет форму слабоогнутого крутопадающего лотка, занимающего всю поверхность узкого днища, ширина которого не превышает первых метров. Форма продольных профилей слабоогнутая, часто прямолинейная. В водотоках низких порядков с большими уклонами и малыми площадями горный тип русла с неразвитыми аллювиальными формами развит практически на всем их протяжении.

К рекам с преобладанием русла горного типа с развитыми аллювиальными формами относятся водотоки I-II (реже III) порядков, также имеющие небольшую протяженность и малые площади водосборов, но с менее крутыми уклонами, чем в реках первого типа (табл. 19).

Днища долин также как и в первом типе узкие, но местами прослеживаются пойма и фрагменты низких террас (рис. 31). На таких участках

днище расширяется. Соотношение ширины поймы и русла не превышает 2-5. Чередование узких беспойменных участков с расширениями днища определяет четковидность последнего. Мощность аллювия в среднем составляет 3-6 м. Продольные профили в большинстве случаев имеют слабовогнутую форму. Уклоны остаются высокими практически на всем протяжении рек, лишь в нижнем течении отмечается их снижение, сопровождаемое резким расширением днища, русло приобретает полугорный облик.

**Таблица 19.** Типы рек Алданского района и их морфометрические характеристики

Типы рек с преобладанием русла	Порядок водотока	Длина, км	Интервалы уклонов,‰	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>
Горного с неразвитыми аллювиальными формами	I-II	2,9	120-80	3,1
Горного с развитыми аллювиальными формами	I-II, III	3,8	50-80	4,6
Полугорного:				
а) небольшие	II, III-IV	7,8	30-50	21,5
б) крупные	V-VI	40,5	2-5	419



**Рис. 31.** Участок реки с руслом горного типа с развитыми аллювиальными формами (река Юхта, Алданский район).

К полугорным относятся небольшие реки III-IV порядков, водотоки II порядка, имеющие средние уклоны 30-50‰ и крупные реки V-VI порядков с уклонами от 2 до 5‰. Продольные профили рек имеют вогнуто-волнистую форму. На верхних крутых участках рек преобладает горный тип русла с неразвитыми аллювиальными формами. На средних и нижних участках, занимающих более 2/3 протяженности рек, уклоны резко снижаются и формируются горные с развитыми аллювиальными формами и полугорные типы русел. Длина небольших рек от 5 до 11 км, площади водосборов достигают 30 км<sup>2</sup>. Участки врезанных русел сменяются широкопойменными, где ширина днища достигает 100 м и более. Отчетливо выражено четковидное строение днища. Мощность аллювия увеличивается до 5-8 м. Протяженность крупных полугорных рек V-VI порядка увеличивается до 40 км, уклоны резко снижаются по сравнению с небольшими полугорными реками и составляют 2-5‰, резко увеличиваются площади бассейнов. Аллювий в основном галечный, на некоторых участках встречаются песчаные отмели.

В Куларском районе, в связи с тем, что россыпесодержащие долины погребены под мощным слоем рыхлых отложений важно было хотя бы приблизительно оценить типы палеорек, формирующих погребенные россыпи. С этой целью их морфометрические характеристики определялись по составленным картам погребенного рельефа и продольным профилям днищ погребенных долин. Правомочность такого подхода определяется тем, что форма продольных профилей днищ погребенных долин и площади их бассейнов мало отличаются от этих же характеристик, определенных для современных водотоков [Хмелева, Григорьев и др., 1978]. В долинах рек Куларского района, в котором разведка небольших горных рек не проводилась, анализировались реки с преобладанием по протяженности горных с развитыми аллювиальными формами и полугорных русел (табл. 20). Реки с преобладанием горного русла с развитыми аллювиальными формами сформированы водотоками II порядка, имеющими незначительную протяженность. Их уклоны значительно меньше, но площади бассейна в несколько раз больше, чем для рек того же типа в Алданском районе.

**Таблица 20.** Типы рек Куларского района и их морфометрические характеристики

Типы рек с преобладанием русла	Порядок	Длина, км	Уклоны, ‰	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>
Горного с развитыми аллювиальными формами	II	5,3	15 – 10	16,0
Полугорного	III-IV	11,8	7 – 14	47

Реки с преобладанием русел полугорного типа сформированы водотоками III-IV порядков. Увеличение расходов за счет больших площадей водосбора компенсируют небольшие уклоны, что приводит к формированию полугорного типа русла, близкого по своей морфологии с аналогичным типом в Алданском районе. Ширина днища достигает 1-2 км. Характерно

четковидное строение дна. Русла на большом протяжении свободно меандрируют в широкопойменном днище. Продольные профили имеют вогнутую форму

В Ленском районе по своим морфометрическим показателям первые три типа рек близки к Алданскому району (табл. 21).

**Таблица 21.** Типы рек Ленского района и их морфометрические характеристики

Типы рек с преобладанием русла	Порядок	Длина, км	Уклон,‰	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>
Горного с неразвитыми аллювиальными формами	I	2,6	120-100	5,7
Горного с развитыми аллювиальными формами	I-II	3,8	60-80	11,7
Полугорного:				
а) небольшие	III-IV	15,4	30-50	67,1
б) крупные	V-VII	100	2-4	2300

Реки с преобладанием горного типа русла с неразвитыми аллювиальными формами образованы в очень коротких прямолинейных крутопадающих долинах I порядка с небольшими площадями бассейнов. Уклоны достигают значений 80-120‰. Долины узкие (шириной в первые десятки метров), их днища имеют вид крутопадающих лотков. Слагающие узкое днище наносы представлены грубообломочным материалом небольшой мощности, образующим беспорядочные скопления. Нередко в русле обнажается скальное ложе.

Реки с преобладанием горного типа русла с развитыми аллювиальными формами сформированы в долинах I-II порядков, также имеют небольшую протяженность. Площади бассейнов возрастают, а уклоны снижаются до 80-60‰. Русла врезанные, протекают в узких прямолинейных днищах. На некоторых участках отмечается меандрирование, наличие осередков. На участках меандрирования развита пойма. Отмечается слабо выраженная четковидность дна. Продольные профили слабо вогнутые. Преобладает валунно-галечный тип наносов, нередко встречаются слабо окатанные валуны. Также как и для Алданского района, в нижнем течении рек русло приобретает полугорный облик.

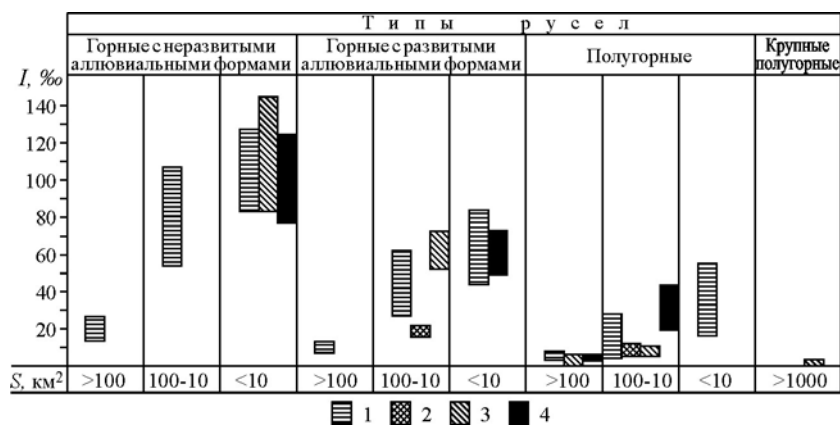
Полугорные реки, сформированные водотоками III-IV порядков, характеризуются относительно небольшими уклонами (в среднем 30-40‰), их протяженность возрастает до первых десятков километров, значительно увеличиваются площади бассейнов (табл. 21). Как правило, на верхних участках рек развиты горные типы русел, которые ниже по течению сменяются на полугорные. Характерна четковидность дна. Аллювий также представлен валунно-галечными отложениями, мощность их достигает 7-10 м. Продольные профили хорошо выработаны, имеют вогнутую форму. Крупные полугорные реки V-VII порядков имеют протяженность от 50 до 100 и более километров, уклоны резко снижаются по сравнению с небольшими

полугорными реками и составляют 2-4%, резко увеличиваются площади бассейнов (рис. 32; табл. 21).



**Рис. 32.** Участок реки с руслом полугорного типа (река Малый Патом, Ленский район).

При сравнении морфометрических показателей рек исследуемых районов выявлено, что уклоны, попадающих в определенный диапазон значений площадей водосборов (<10; 10 – 100; > 100 – 1000; ≥1000 км<sup>2</sup>) для каждого типа рек в исследованных районах варьируют в незначительных пределах и сопоставимы с данными, приведенными Р.С. Чаловым [2002] для выделенных им типов русел (рис. 33).



**Рис. 33.** Интервалы уклонов на участках с различными типами русел: 1 – (по Р.С. Чалову, 2002), 2 – в Куларском, 3 – Ленском и 4 – Алданском районах.

Для выявления особенностей русловых процессов важным является оценка гидравлических характеристик потоков, формировавших россыпи. Поскольку в Ленском и Куларском районах россыпи формировались в прошлые геологические эпохи, оценка гидравлических характеристик для выделенных типов рек проведена только для Алданского района. Так как в исследуемых бассейнах рек Алданского района гидрометрические наблюдения не проводятся, они были получены расчетным способом по методу, используемому Н.И. Маккавеевым и А.М. Калининим (Экспериментальная геоморфология, 1969). Расчеты проведены для р. Джеконды и нескольких ее притоков [Хмелева и др. 1980]. Паводочный расход, при котором проходит наибольший объем стока наносов, соответствует примерно 1%-ной обеспеченности. Такой расход повторяется раз в сто лет. Для расчета была использована формула, применяемая при отсутствии или недостаточности гидрометрических данных [Указания.....,1966]

$$Q_{1\%} = \frac{K_o h_p F}{(F + 1)^{0,15}} \delta, \quad (5)$$

где  $K_o$  – коэффициент дружности половодья, равный для бассейнов, подобных исследованной реке 0,003;  $h_p$  - расчетный слой суммарного стока половодья 1%-й обеспеченности, равный 200 мм ( $K_o$  и  $h_p$  определены по картам "Указаний...");  $F$  - площадь бассейна до замыкающего створа;  $\delta$  – коэффициент, учитывающий влияние карста и для исследованного бассейна равный 1.

По формуле (5) расход воды 1%-й обеспеченности рассчитывался для пяти створов, расположенных на разных участках р. Джеконды V порядка. Для каждого из створов определялась паводочная пропускная способность русла по формуле

$$K = \frac{Q_{1\%}}{\sqrt{I}} \quad (6)$$

Уклоны определялись на местности или по карте.

На основании зависимости В.Г. Глушкова

$$A = \frac{\sqrt{B}}{H}, \quad (7)$$

при  $A$ , равном для исследуемого района 6, задаваясь различными значениями глубины потока  $H$ , были определены ширина живого сечения  $B$  и его площадь  $\omega$ . По данным об изменении  $\omega$  и  $H$  построены кривые  $\omega = f(H)$ , используя которую на основании уравнения

$$K = \omega C \sqrt{R}, \quad (8)$$

где  $C$  – коэффициент Шези, равный для притоков р. Джеконды 15;  $R$  – гидравлический радиус, равный глубине потока  $H$ ; путем подбора определены значения  $\omega$  и  $H$ , соответствующие максимальным расходам 1%-ной обеспеченности. Такие же расчеты были произведены для горных водотоков с незвитыми и развитыми аллювиальными формами бассейна р. Якокит.

На основе данных об изменении расходов воды в зависимости от площадей водосбора были получены формулы для определения расходов воды в более мелких горных и полугорных реках:

$$Q = 0,4F \text{ (для водотоков с площадью бассейна до } 20 \text{ км}^2\text{)} \text{ (9).}$$

$$Q = 0,28F + 25 \text{ м}^3/\text{с} \text{ (для водотоков с площадью бассейна больше } 20 \text{ км}^2\text{)} \text{ (10)}$$

Средняя скорость потока для расхода 1%-ной обеспеченности определена из уравнения неразрывности

$$v = \frac{Q_{1\%}}{\omega}, \quad (11)$$

$$\text{Число Фруда определено как } Fr = \frac{V^2}{gH} \quad (12).$$

Результаты расчетов приведены в таблице 22. Полученные значения числа Фруда для рек с преобладанием горного типа русел с неразвитыми аллювиальными формами несколько больше по сравнению с данными, приведенными Р.С. Чаловым (табл. 18).

**Таблица 22.** Гидравлические характеристики рек с разными типами русел (Алданский район)

Типы рек с преобладанием русла	Гидравлические характеристики			
	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$H$ , м	$V$ , м/с	Fr
Горного с неразвитыми аллювиальными формами	1,2	0,2	2,8	2,3
Горного с развитыми аллювиальными формами	1,3	0,3	1,9	1,2
Полугорного				
а) небольшие	8,1	0,7-1,7	1,8	0,8
б) крупные	144		0,8	0,4

Для горных русел с развитыми аллювиальными формами и полугорных рек они имеют близкие значения. И в том и в другом случае прослеживается тенденция увеличения кинетичности потоков от полугорных рек к горным. Значительно возрастают расходы воды. Так, в крупных полугорных реках расходы достигают 144 м<sup>3</sup>/с. Близкие значения расходов воды для крупной полугорной реки Вачи были замерены в многоводный год геологами в Ленском районе. Близкие значения морфометрических и гидравлических показателей водотоков с определенными типами русел еще раз подтверждает универсальность классификации, предложенной Р.С. Чаловым. Независимо от различных природных условий сочетание площади бассейна, обуславливающей определенный расход воды, и уклона, с которым связаны скорости течения и кинетичность потоков, определяет тип русла и форму транспорта наносов в разных районах, в том числе и в районах исследований.



## 5.2. Условия, определяющие вероятность формирования россыпей и их положение в долине

Условия, благоприятные для формирования россыпей в долинах определяются их уклонами и порядками рек. Ранее было установлено, что в долинах самых низких порядков с большими уклонами россыпи не образуются, а наиболее благоприятные условия для их формирования создаются в долинах III-IV порядков с небольшими уклонами [Геология россыпей..., 1979]. Сущность этих эмпирических закономерностей не исследовалась. Вместе с тем процесс формирования россыпей неразрывно связан с движением наносов, которое осуществляется только во время паводков и половодья. Особенности проявления русловых процессов в выделенных типах рек определяют условия, при которых может осуществляться механизм формирования россыпей, их количество, содержание золота и продуктивность. Наибольшее количество в районах исследований составляют долины, сформированные реками, имеющими русла горного типа с неразвитыми аллювиальными формами (табл. 23). Однако россыпи в них практически не формируются и характеризуются низкой продуктивностью, не достигающей промышленных значений. Небольшие расходы при огромной массе обломочного материала, поступающего в долины, определяют неблагоприятные условия для формирования выдержанного металлоносного пласта.

**Таблица 23.** Соотношение количества россыпей с типами русел (Алданский район)

Типы водотоков с преобладанием русла	Количество водотоков в бассейне, %	Количество россыпесодержащих долин, %	Количество россыпей от их общего числа, %
Горного с неразвитыми аллювиальными формами	52	9,4	17,6
Горного с развитыми аллювиальными формами	40	37,5	55,0
Полугорного	8	100	27,4

Во время паводков происходит массовое смещение наносов. Крупность наносов соизмерима с глубиной потока и в их транспорте большое значение приобретает аблювиальный эффект, механизм которого вскрыт при проведении экспериментальных исследований. При гладкой форме движения наносов не происходит процесс концентрации частиц золота. Лишь на незначительных по протяженности участках снижения уклонов и повышенной шероховатости ложа возможно образование локальных обогащенных золотом гнезд аллювия. Горные потоки этого типа являются каналами, по которым частицы золота выносятся в нижерасположенные звенья гидросети.

В долинах, сформированных реками с преобладанием горного типа русел с развитыми аллювиальными формами, создаются более благоприятные условия для процесса россыпеобразования. Расходы воды значительно больше, чем в первом типе. Во время паводков и половодий возникают аллюви-

альные гряды (антидоны). Основная масса наносов перемещается в русле, но и на пойме также происходит их активный транспорт, так как бурный поток заполняет всю ширину узкого днища. При благоприятных условиях в таких долинах могут формироваться небольшие по протяженности россыпи. Наиболее продуктивные участки, как правило, приурочены к нижнему течению, где уклоны снижаются и русло становится полугорным. Количество россыпей в долинах водотоков этого типа по отношению к общему числу россыпей наибольшее. Однако их протяженность и продуктивность небольшая.

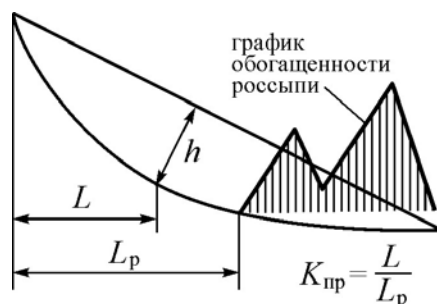
В полугорных реках с более спокойным гидродинамическим режимом создаются наиболее благоприятные условия для формирования россыпей. Транспорт донных наносов осуществляется в виде гряд. Грядовая форма движения наносов способствует концентрации золота и образованию золотоносного пласта. Перемещение наносов осуществляется путем перераспределения их на отдельных элементах руслового рельефа. Материал, поступивший в результате транзита наносов с верхних участков долин, активно перемещается на побочнях, которые занимают постоянное положение в русле. Транспорт донных наносов осуществляется путем переноса частиц с одной гряды на другую [Чалов, 1986; Хмелева, Виноградова и др., 2000]. При смещении наносов возникает своеобразный шлиховой эффект – частицы золота, благодаря своему большому удельному весу и небольшим размерам, отстают от основной массы наносов и проседают в нижние горизонты аллювия, образуя продуктивный, выдержанный по протяженности золотоносный пласт. В понижениях коренного ложа кинетичность и скорости течения снижаются, происходит аккумуляция наносов и частиц золота, которые равномерно распределены по всей толще аллювия. Таким образом, форма движения наносов в полугорных реках обуславливает процесс концентрации и накопления частиц золота. Специфика формирования россыпей определяется также возрастанием в формировании россыпи роли притоков, поставляющих золото. Длина россыпей в крупных полугорных долинах может достигать десятков километров. Их продуктивность максимальна.

Различия в условиях формирования россыпей в различных типах русел позволяют объяснить некоторые закономерности формирования россыпей, выявленные эмпирическим методом. Так, Е.И. Тищенко [1966] на примере Ленского района установлено, что при превышении определенных значений уклонов процесс россыпеобразования не может осуществляться. Такие уклоны им предложено называть критическими уклонами россыпеобразования. При сравнении критических уклонов в районах исследований выяснилось, что их значения определяются сочетанием крупности металла и транспортирующей способности потоков: чем крупнее частицы, тем больше уклоны, при которых возможно образование россыпей. Так, для россыпей Алданского района, представленных в основном весьма мелким металлом, критический уклон, составляет 60‰, тогда как по данным Е.И. Тищенко и результатам наших исследований для Ленского района, характеризующихся более крупным золотом в россыпях значения критического уклона возрастают до

80%. Для россыпей Северо-Востока с еще более крупным металлом критические уклоны увеличиваются до 120‰ [Геология россыпей..., 1979]. В Куларском районе, в россыпях которого преобладает мелкое золото, благодаря небольшим уклонам россыпи имеются практически во всех долинах. Эта закономерность объясняется различной способностью частиц золота к перемещению в составе наносов. Мелкие и весьма мелкие частицы, составляющие практически 100% всего золота в россыпях Алданского и Куларского районов, могут формировать россыпи в долинах полугорных рек с небольшими уклонами. В россыпях Ленского района наличие крупных частиц золота, обуславливает формирование россыпей при значительно больших уклонах. Как показали результаты проведенных исследований на участках со значениями уклонов ниже критических как правило происходит смена типов русел. На участках долин, где уклоны превышают критические, формируются горные русла с неразвитыми аллювиальными формами с неблагоприятными условиями россыпеобразования, ниже по течению формируются русла с развитыми аллювиальными формами и полугорные, форма движения наносов в которых способствует концентрации золота и образованию россыпей. Таким образом, при определении критического уклона россыпеобразования в различных районах необходимо учитывать как крупность металла, так и уклоны долин, определяющие развитие того или иного типа русел.

Распределение уклонов по длине рек обусловлено степенью выработанности и формой продольных профилей. По этим признакам выделяются два основных типа продольных профилей – слабо выработанные, имеющие квазипрямолинейную форму, и выработанные, имеющие вогнутую форму. Если для первого типа профилей уклоны остаются значительными по всей длине долины, которая представляет собой крутопадающий лоток, по которому осуществляется интенсивный перенос золота, то по протяженности рек имеющих волнисто-вогнутую форму продольного профиля, наиболее свойственных полугорным рекам, условия транспорта наносов значительно варьируют. Мерой вогнутости продольного профиля принято считать стрелу его прогиба. Она определяется величиной перпендикуляра, восстановленного из точки максимального вреза продольного профиля на прямую соединяющую верховье и устье реки. Положение стрелы прогиба на продольном профиле является важным морфологическим показателем проявления русловых процессов (Экспериментальная геоморфология, 1978) Выше по течению от стрелы прогиба располагается участок интенсивного проявления глубинной эрозии. Ниже по течению находится зона русловых переформирований и образования аккумулятивных форм. Также как критический уклон россыпеобразования положение стрелы прогиба является границей, разделяющей участки с разными типами русел. Горное с неразвитыми аллювиальными формами ниже стрелы прогиба сменяется на горное с развитыми аллювиальными формами и полугорное русла. При рассмотрении положения россыпей в долинах с выработанным продольным профилем, имеющим волнисто-вогнутую форму, установлено, что их верхняя граница нередко совпадает с положением стрелы

прогиба. С целью выяснения связи местоположения россыпи с положением стрелы прогиба введен коэффициент положения россыпей ( $K_{н.р.}$ ). Он определяется как отношение  $l/l_p$  где  $l_p$  – расстояние от истока до начала россыпи,  $l$  – расстояние от истоков до местоположения стрелы прогиба (рис. 34). При  $K_{н.р.}$  россыпи=1 начало россыпи совпадает с положением стрелы прогиба. При  $K_{н.р.} \geq 1$  – россыпь начинается выше по течению от стрелы прогиба, при  $K_{н.р.} \leq 1$  россыпь смещена вниз от стрелы прогиба.



**Рис. 34.** Схема определения коэффициента положения россыпи: 1 – график запасов золота, 2 – стрела прогиба продольного профиля, 3 – расстояние от верховий до стрелы прогиба, 4 – расстояние от верховий до начала выдержанной россыпи.

Ниже приводятся значения коэффициентов положения россыпей для районов исследований (табл. 24, 25, 26). Они определялись только для рек с вогнутым продольным профилем.

В долинах горных рек с преобладанием русла с развитыми аллювиальными формами коэффициент положения россыпи значительно варьирует, но остается меньше 1, что связано с характером распределения уклонов по длине долин, которые остаются большими даже ниже по течению от стрелы прогиба (рис. 35А; табл. 27). Большие уклоны участков, расположенных выше стрелы прогиба, определяют формирование горного русла с неразвитыми русловыми формами, гладкую форму движения наносов и неблагоприятные условия для формирования россыпей.

Россыпи в таких долинах, как правило, формируются в их устьевых частях, где уклоны продольного профиля резко снижаются и русло становится полугорным.

В полугорных реках стрела прогиба смещается в верховья и является границей резкого снижения уклонов и перехода от горного типа с неразвитым аллювиальными формами к горному с развитыми аллювиальными формами и полугорному типам русел. Практически все россыпи начинаются на участках, расположенных ниже по течению от местоположения стрелы прогиба, где в результате снижения способности транспортирующей способности потоков происходит разгрузка наносов, в том числе и частиц золота (рис. 35Б). Продуктивность россыпи здесь резко возрастает.

На фоне общей закономерности снижения уклонов от верховий к низовьям и ниже стрелы прогиба продольного профиля по длине рек происходят локальные изменения уклонов. Особенно ярко это проявляется на полугорных реках, для которых характерно чередование крутопадающих и пологих участков, сопровождающееся сменой типов русел от горных с неразвитыми аллювиальными формами к горным с развитыми аллювиальными формами и полугорным. Многими исследователями отмечалось, что на участках с большими уклонами происходит резкое обеднение и даже разрыв россыпи. Неравномерный характер распределения продуктивности объясняется формой движения наносов в этих типах русла, которая определяет условия формирования россыпей. Значительное увеличение транспортирующей способности потока на крутом участке обуславливает вынос частиц золота и их отложение на пологих участках. Это подтверждается при анализе кривых изменения запасов по разным террасовым уровням и в днищах долин. В процессе врезания рек и переотложения россыпедержащего аллювия на более низкие эрозионные уровни максимум продуктивности россыпи на участках долин с крутыми уклонами продольного профиля смещается на 200–400 м вниз по течению относительно положения максимума на более высоком размываемом уровне (рис. 36А).

На участках с более пологим продольным профилем максимумы продуктивности россыпей проектируются на более низкий уровень без смещения (рис. 36Б). Полученные результаты объясняют противоречивость фактов, приводимых рядом исследователей при доказательстве возможности перемещения частиц золота. Так, Н.А. Шило [2000] для Колымского района описывает случай проекции россыпи на более низкий эрозионный уровень практически без изменения ее контуров. В то же время Е.З. Горбунов [1959] приводит противоположный пример – полное изменение контура россыпи после паводка. Как показывают результаты исследований, эти противоречия объясняются различными уклонами участков рек, на которых происходит переотложение россыпи на более низкие эрозионные уровни.

Выявленные закономерности позволяют наметить принципиально новый подход к прогнозу вероятности формирования и положения россыпей в долинах. Формирование россыпей в долинах определяется типом русел и формой движения наносов. Процесс концентрации частиц золота может осуществляться только при грядовой форме транспорта наносов в реках горного типа с развитыми аллювиальными формами и в полугорных реках. Наиболее благоприятные условия формирования россыпей создаются на участках долин с полугорным типом русел. Положение россыпей контролируется стрелой прогиба – границей, разделяющей реку на участки, сформированные горными руслами с неразвитыми аллювиальными формами с преобладанием выноса материала и участки развития горных русел с развитыми аллювиальными формами и полугорных русел, на которых осуществляется грядовая форма движения наносов и формируются россыпи.

**Таблица 24.** Положение россыпей относительно положения стрелы прогиба продольного профиля в Алданском районе

Тип рек с преобладанием русла	Расстояние от истока до стрелы прогиба, $l$ км	Расстояние от истока до начала россыпи, $l$ км	Коэффициент положения россыпи $l/l_p$
Горного с развитыми аллювиальными формами	0,9	1,4	0,7
Полугорного	1,7	1,9	0,9

**Таблица 25.** Положение россыпей относительно пункта стрелы прогиба продольного профиля в Куларском районе

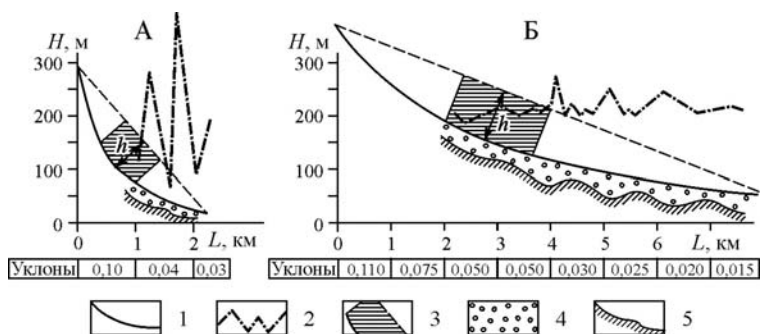
Тип рек с преобладанием русла	Расстояние от истока до стрелы прогиба, $l$ км	Расстояние от истока до начала россыпи, $l$ км	Коэффициент положения россыпи, $l/l_p$
Полугорного	3,2	3,2	1,0

**Таблица 26.** Положение россыпей относительно пункта стрелы прогиба продольного профиля в Ленском районе

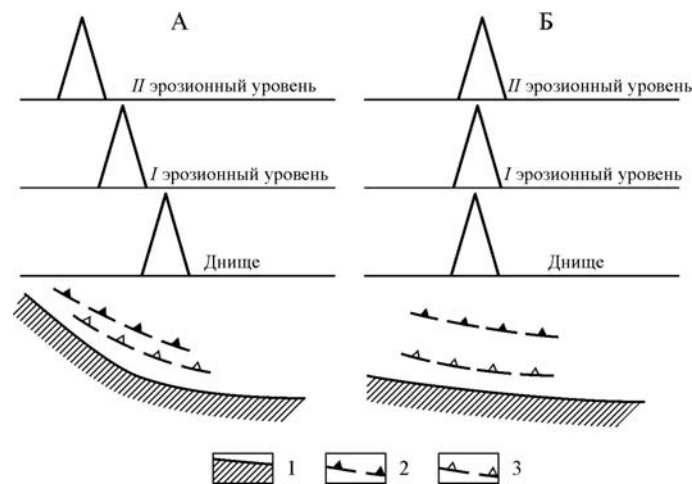
Типы рек с преобладанием русла:	Расстояние от истока до стрелы прогиба, $l$ км	Расстояние до начала россыпи, $l$ км	Коэффициент положения россыпи, $l/l_p$
Горного с развитыми аллювиальными формами	0,9	4,9	0,2
Полугорного	5,0	5,5	0,9

**Таблица 27.** Изменение уклонов по длине рек с преобладанием русла горного типа с развитыми аллювиальными формами (Алданский район)

Положение участка	Выше стрелы прогиба	Ниже стрелы прогиба	Устьевая область
Значения уклонов, %	140	50	40



**Рис. 35.** Положение россыпи относительно стрелы прогиба продольного профиля в водотоках: горного типа с развитыми аллювиальными формами (А) и полугорных (Б): 1 – продольный профиль, 2 – график запасов золота, 3 – участок положения стрелы прогиба, 4 – аллювиальные отложения, 5 – коренные породы.

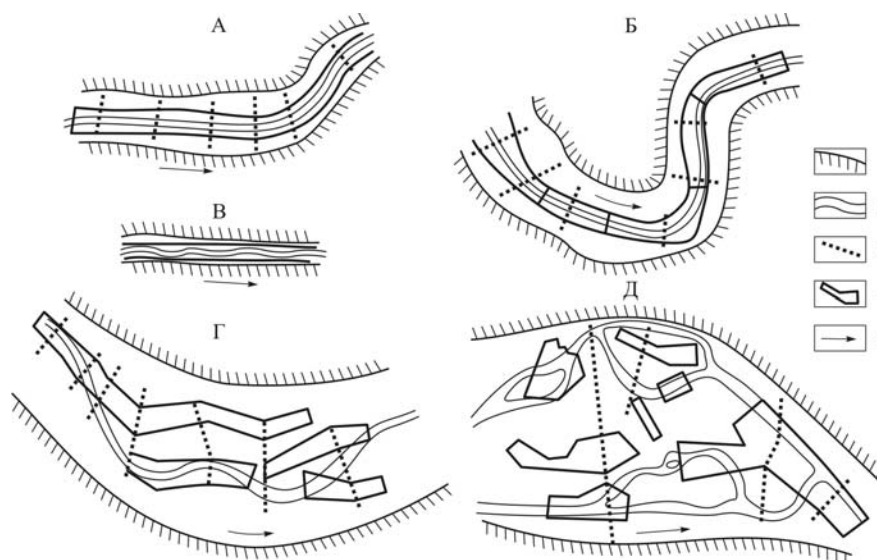


**Рис. 36.** Положение максимумов накопления золота на разных эрозионных уровнях на участках с крутым (А) и с пологим (Б) продольным профилем: 1 – дно; эрозионные уровни: 2 – первый, 3 – второй.

### 5.3 Связь морфодинамических типов русел с морфологией россыпей

Русла рек могут быть врезанными, адаптированными или широкопойменными, характеризоваться разной морфологией и относиться к разным морфодинамическим типам (относительно прямолинейное неразветвленное, меандрирующее, разветвленное). Последовательность смены морфодинамических типов русел по длине рек обусловлена различными факторами. Изменение соотношения расходов и уклонов с возрастанием порядка рек и вниз по течению определяет зональность их распространения в долинах. Для горных русел с незрелыми и зрелыми аллювиальными формами преобладают относительно прямолинейные неразветвленные русла, лишь на участках впадения притоков формируются одиночные излучины. Для полугорных рек характерен меандрирующий тип русла. Относительно прямолинейные неразветвленные русла занимают всего 10-20% от общей протяженности долин. Эта последовательность может нарушаться в зависимости от литолого-тектонических факторов. Особенно это характерно для полугорных рек, большая протяженность которых определяет пересечение рекой пород с разным литологическим составом и тектонических структур с разной направленностью вертикальных движений. Например, пересечение рекой участков, сложенных мягкими, неустойчивыми к размыву сланцами или тектонической впадины определяет формирование широкопойменного свободномеандрирующего русла. На участках поднятий, в зонах распространения трудноразмываемых пород происходит интенсивное врезание и формируется относительно прямолинейный неразветвленный тип русла.

Морфология россыпей на разных участках долин определяется морфодинамическим типом русла. Особенно ярко эта связь проявляется в долинах полугорных рек. Рассмотрим связь морфологии россыпи с морфодинамическими типами русел на примере крупной полугорной реки Бодайбо в Ленском районе, в долине, которой сформированы уникальные по своей продуктивности россыпи. В верхней части долина пересекает переслаивающиеся песчаники и сланцы. Днище широкое, хорошо развита пойма. Здесь преобладают относительно прямолинейное неразветвленное и меандрирующее русла. Россыпи имеют значительную ширину, прямолинейные контуры (рис. 37А). На участке впадения ручья Онман долина пересекает Муравейскую антиклиналь, сложенную твердыми породами.



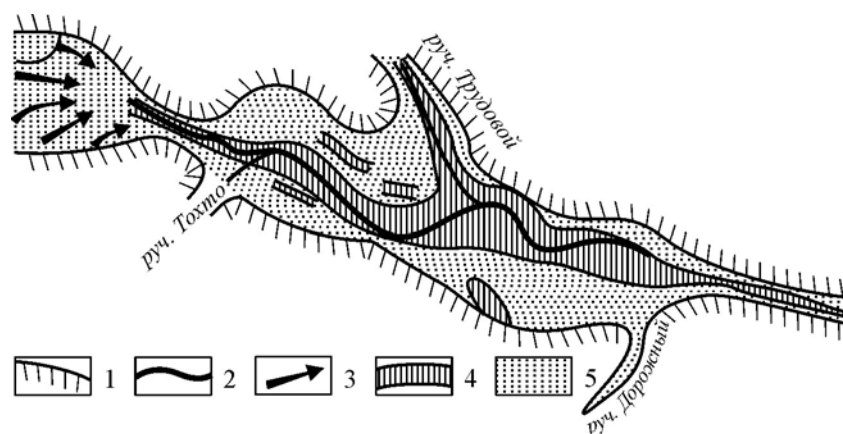
**Рис. 37.** Морфология россыпи на участках русла: широкопойменного относительно прямолинейного неразветвленного (А); развития врезанных излучин (Б); узкопойменного, относительно прямолинейного неразветвленного (В); широкопойменного со свободными излучинами (Г); широкопойменного, разветвленного на рукава (Д): 1 – границы днища, 2 – русло, 3 – разводочные скважины, 4 – границы блоков запасов, 5 – направление течения.

Русло образует две крутые врезанные излучины, в выпуклых частях которых сохранились останцы высоких террас. Контуры россыпи также узкие и повторяют форму излучин (рис. 37Б). Ниже ручья Онмана вплоть до ручья Тетеринского литологический состав пород, представленных трудно размываемыми песчаниками, а также пересечение долиной крупной Ежовской антиклинали, обусловили типичный антицидентный облик – долина глубоко врезана, узкая, с обоих бортов «зажата» крутыми склонами. Крутые



борта лишь на отдельных участках, особенно в местах впадения притоков выполаживаются, приобретая вид пологих террасоувалов. Русло узкопойменное врезанное относительно прямолинейное неразветвленное. Россыпи, сформированные на этом участке узкие, имеют прямолинейные контуры (рис. 37В). Наиболее сложный по своему строению участок располагается между устьями ручья Тетеринского и ручья Бодайбоккан. Значительное расширение долины, формирование широкопойменного русла, развитие крупных меандр, разветвление русла на отдельных участках объясняются легкой размываемостью коренных пород, представленных относительно мягкими сланцами (рис. 37Г). В пределах участка выделено несколько узких контуров россыпи, повторяющих форму излучин и рукавов. На некоторых участках широкопойменного днища русло дробится на несколько рукавов (рис. 37Д). Ширина россыпи в соответствии с увеличением ширины долины достигает максимальных значений. Контур россыпи прерывистый, отдельные обогащенные фрагменты россыпи имеют различную ориентировку в плане.

В качестве другого примера связи морфологии россыпей с морфодинамическими типами русел можно привести р. Джеконду, протекающую в Алданском районе (рис. 38).



**Рис. 38.** Изменение морфологии россыпи по длине р. Джеконды (Алданский район): 1 – границы днища, 2 – русло, 3 – эрозионные ложбины, 4 – контур россыпи.

По протяженности река разделяется на несколько морфологических участков. На верхнем участке река осваивает обширную котловину, сложенную известняками кембрия. Глубина вреза небольшая, долина морфологически слабо выражена. Ее борта имеют крутизну менее  $10^\circ$  и постепенно сливаются с днищем, ширина которого дос профиля на рассматриваемом участке равен 170%. Врезанное русло и постоянный водоток отсутствуют. Котловина выстлана аллювиально-пролювиальными отложениями со сла-

бой золотоносностью. Ниже по течению в области распространения архейских гранитов долина глубоко врезана, приобретает каньонообразный характер. Ширина днища не превышает первые десятки метров. Уклон продольного профиля уменьшается до 100‰. Русло относительно прямолинейное неразветвленное, слабо врезано в узкое днище. В соответствии с небольшой шириной днища россыпь узкая, ее контур имеет прямолинейную форму, продуктивность благодаря значительным уклонам небольшая. Ниже по течению на участке между ручьями Тохто и Дорожным средний уклон снижается до 5‰. Река Джеконда на этом участке имеет широкопойменное свободномеандрирующее русло шириной 10-15 м. Ширина днища достигает 100 метров. В русле широко развиты побочки. Мощность аллювия 5-8 м. Контур россыпи сложный, имеет различную ширину, которая увеличивается на участках расширения днища. Ниже по течению река пересекает область распространения архейских гранитов. Долина на этом участке узкая, каньонообразная, со скальными обрывами к руслу. Ширина днища менее 50 м, уклоны увеличиваются до 100-200‰. Сегменты поймы развиты лишь на отдельных участках, где русло образует небольшие излучины. Русло врезанное, относительно прямолинейное неразветвленное. Мощность аллювия небольшая ( $\leq 1$  м). Благодаря большим уклонам, обуславливающим высокую кинетичность и безгрядовую форму движения наносов условия для россыпеобразования крайне неблагоприятны. Отмечаются низкие содержания золота.

Таким образом, на примере россыпей районов исследований четко прослеживается связь их морфологии с морфодинамическими типами русел. В соответствии с этим можно выделить морфодинамические типы россыпей, сформированные а) узкопойменными относительно прямолинейными и меандрирующими руслами, характеризующимися узкими относительно прямолинейными контурами и б) широкопойменными свободномеандрирующими и многорукавными руслами, характеризующимися сложными прерывистыми контурами, имеющими различную ориентировку в плане. Связь морфологии россыпей с морфодинамическими типами русел особенно ярко проявляется в крупных долинах, для которых характерно постоянное чередование участков с различными типами русел.

## ГЛАВА 6

### ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА КОРЕННОГО ЛОЖА ДОЛИН НА СОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ РОССЫПЕЙ

#### 6.1. Общие представления о роли рельефа коренного ложа в формировании наносов

Основной особенностью русловых процессов М.А. Великанов [1949, с. 423] считал процесс взаимодействия потока и русла, при котором «поток сам создает себе русло, соответствующей ему формы, а в свою очередь русло своей формой влияет на скоростное поле потока». Под действием отдельных струй потока на отдельные части руслового рельефа речное русло приобретает плавные очертания, отчего сглаживается и форма струи, пока, наконец, русло и поток не становятся единым органически связанным комплексом, в котором русло отражает форму потока, а поток отражает форму русла. Н.И. Маккавеев [1955] определяет в наиболее общей форме процесс руслообразования как отображение поверхностью твердой среды, то есть породами, слагающими ложе, особенностей движения воды и перемещаемых наносов. Механизм взаимодействия потока и русла отражает, таким образом, особенности проявления русловых процессов и специфику русла и руслового рельефа рек. Русла горных и полугорных рек часто бывают скальными, лишенными аллювия или аллювий только перекрывает скальное ложе на толщину слоя перемещаемых потоком галечно-валунных наносов. Горные и полугорные реки, характеризующиеся большими скоростями течения и бурными потоками в геологическом масштабе времени врезаются в твердые, обладающие высокой противэрозионной стойкостью скальные породы. В результате этого формируется особый скульптурно-эрозионный тип рельефа коренного ложа.

К настоящему времени накоплены обширные данные, свидетельствующие о большой роли рельефа скального ложа в формировании аллювия и распределении его тяжелой фракции. На это впервые обратил внимание А.А. Чистяков [1978], который при изучении горного аллювия выявил основные типы рельефа коренного ложа, создаваемых потоком. Установленные им комплексы включают эрозионные борозды, карманы, западины, цокольные острова, эрозионные котлы. В теории россыпеобразования под понятием коренного ложа укоренился термин «плотик». В практике геолого-разведочных работ ему уделяется большое внимание, как подстилающему россыпесодержащий аллювий горизонту. Однако теоретический анализ его влияния на формирование структуры россыпи специалистами-геологами практически не проводился. Значимость исследования этой проблемы определяется не только научными интересами и развитием теории русловых процессов в связи с выявлением специфического типа русла, но и практическими задачами поиска, разведки и эксплуатации аллювиальных россыпей.

Это касается и погребенных россыпей, когда формы вмещающих их долин скрыты под многометровой толщей рыхлых отложений.

Большинство россыпей, в том числе, в районах исследований (Куларский и Ленский), формировались не современными реками, а потоками, функционирующими в прошлые геологические эпохи, в течение разных эрозионных циклов формирования долин. В Куларском и Ленском районах россыпи формировались в периоды, отдаленные от современного этапа миллионами лет и находятся в погребенных долинах, перекрытых мощными горизонтами рыхлых отложений разного генезиса. Однако, спускаясь в Куларском районе в шахты на глубину более 100 метров, наблюдая разрезы аллювиальных отложений и характер их контакта с коренными породами в погребенных реках палеогенового возраста, можно видеть отражение деятельности русловых процессов древних палеорек, которые аналогичны формам проявления русловых процессов у современных рек. Стенки шахт представляют собой разрезы древнего аллювия большой площади и мощностью до 3-4 м. В процессе эксплуатации россыпей разрезы были зачищены. В них отчетливо видны различные фации аллювия: русловая, представленная грубообломочным материалом с включенными в него обломками стволов деревьев (она фиксирует положение палеоруслу) и более мелкие слоистые отложения пойменной фации с глинистыми линзами. Эти фации отражают русловые процессы, происходившие в прошлые геологические эпохи. Геологи, работающие в шахтах, обычно подчеркивают, что результаты детального эксплуатационного опробования показывают тесную зависимость характера распределения золота от фаций аллювия, формирование которых определяется в свою очередь особенностями транспорта наносов. Однако проведение фациального анализа при разведке россыпей требует больших затрат средств и времени. Реконструкция фациальных условий формирования россыпей возможна на основе анализа комплекса факторов. К ним относятся: уклоны погребенного днища, косвенно характеризующие динамику потока, положение участка относительно притоков, значительно изменяющие механизм формирования наносов в основном русле и др. Наряду с этими факторами одним из основных критериев, позволяющим оценить фациальную обстановку формирования наносов и россыпей в погребенных долинах, является рельеф коренного ложа, то есть плотика россыпи, который формируется при взаимодействии потока с коренными породами. Как в современных, так и в погребенных долинах рельеф скального ложа при небольшой мощности наносов, транспортируемых горными и полугорными реками, оказывает существенное влияние на механизм формирования россыпей.

## **6.2. Классификация форм скульптурно-эрозионного рельефа скального ложа долин**

Реконструкция рельефа скального ложа по данным буровых работ в россыпесодержащих долинах районов исследований позволила создать клас-

сификацию форм скульптурно-эрозионного рельефа русел, который выделен как особый тип создаваемый потоком при его взаимодействии с коренными породами. В районах исследований на протяжении длительного периода проводились поисково-разведочные работы на значительных отрезках, а иногда на всем протяжении долин. В некоторых случаях бурением были охвачены целые крупные бассейны, что позволило проследить характер рельефа скального ложа в долинах разных порядков и с различными типами русел. Большая суммарная протяженность рек и различия в литологии коренных пород районов исследований дали возможность выявить особенности скальных русловых форм, связанные с изменением эрозионной устойчивости пород, тектоническими нарушениями и т.д. Большим плюсом при проведении исследований была детальность бурения (при разведочных работах расстояние между линиями составляет 100-200 м, между скважинами – 5-10 м.

На основе крупномасштабных геологоразведочных планов составлялись схемы рельефа коренного ложа. Во избежание ошибок при выделении форм рельефа для контрольных участков проводилось сопоставление отметок, полученных по скважинам с маркшейдерскими планами. В подавляющем большинстве случаев разница отметок не превышала 1 м, в связи с чем при составлении схем контуры форм рельефа коренного ложа выделялись по отметкам скважин с превышением больше 1 м. Это обеспечило объективность составления схем рельефа коренного ложа и классификации его форм.

**Эрозионные борозды.** Наиболее распространенной формой, выработанной потоками в скальных породах являются эрозионные борозды – линейно вытянутые понижения различной протяженности и ширины. Наиболее простые из них – эрозионные борозды, веерообразно стягивающиеся в верховьях бассейнов рек низких порядков к основной борозде, выработанной водотоком (рис. 39А). Их глубина и ширина составляет первые десятки сантиметров, форма практически прямолинейная. Очевидно, эти борозды приурочены к тектоническим трещинам или более мягким породам. По ним обломочный материал стягивается с водосборных воронок в верховья реки. Сливаясь в вершине водотоков низких порядков, они образуют одну эрозионную борозду, уже значительно более глубоко врезанную в коренные породы. В водотоках горного типа с неразвитыми аллювиальными формами эта борозда непосредственно переходит в крутые склоны долин. На некоторых участках горных русел с развитыми аллювиальными формами и полугорных рек эрозионные борозды врезаны в относительно ровную поверхность дна, площадки которого прослеживаются либо по всей длине долин, либо встречаются отдельными фрагментами то у одного, то у другого борта (рис. 39Б). Эти площадки являются цоколями скелетных пойм и вместе с врезанными в них эрозионными бороздами представляют собой скальное основание пойменно-руслового комплекса, с которым непосредственно взаимодействует водный поток и по которому осуществляется транспорт, аккумуляция наносов и частиц золота. Эрозионные борозды, выработанные врезающимся потоком в скальном ложе долин, отражают морфологию и

положение русла, функционирующего в период врезания. В дальнейшем они будут называться палеоруслиами [Виноградова, Маорс, 1998]. Геологи называют их «глубокими тальвегами», особенно тщательно прослеживая их положение, так как именно к ним приурочены наиболее высокие содержания металла.

Палеорусли прослеживаются в днищах и на фрагментах погребенных террас, хотя их выраженность в рельефе снижается на более высоких эрозионных уровнях. Однако по отдельным фрагментам представляется возможным оценить морфологию и морфометрические характеристики палеорусел, функционировавших в разные эрозионные этапы. Конфигурация эрозионных борозд отражает морфодинамический тип палеорусел, функционирующих в период врезания рек. Также как и для современных русел, в рельефе коренного ложа выделяются палеорусли: относительно прямолинейные неразветвленные, свободно меандрирующие, врезанные меандры и русла, разветвленные на рукава.

Эрозионные борозды и фрагменты цоколей поймы являются основными элементами, определяющими морфологический облик коренного ложа долин. На фоне этих элементов в рельефе коренного ложа выделяются скульптурные формы более низких рангов. К ним относятся:

**Цокольные острова.** Они могут быть или единичными, или образовывать серию островов. Небольшие острова – осередки – выделяются в рельефе коренного ложа долин и на относительно прямолинейных и на меандрирующих участках русла. Их размеры обычно составляют первые сотни метров, а превышения над поверхностью днища – первые метры (рис. 39В). На участках значительного расширения днища характерно образование большого количества цокольных островов, разделенных палеорукавами (рис. 39Г).

**Западины и повышения коренного ложа.** На некоторых участках рек средних порядков в коренных породах днища формируется своеобразный «западинно-перекатный» рельеф. Западины представлены корытообразными понижениями в скальном ложе. Их ширина и глубина являются функцией размера водотока и прочности прорезаемых пород. Наиболее ярко проявляется этот тип скульптурно-эрозионного рельефа в горных с развитыми аллювиальными формами и полугорных реках. Образование западин может быть связано с впадением притоков. Однако западины распространены и на бесприточных участках с однородным составом коренных пород. Морфометрический анализ западин показал, что с увеличением размеров водотоков пропорционально увеличивается их протяженность и глубина. Для горных русел с развитыми русловыми формами длина западин в среднем составляет около 400 м, глубина 2- 4 м. Для водотоков полугорного типа размеры западин увеличиваются – протяженность в среднем составляет около 1 км, а глубина достигает 5-8 метров. Отмеченные соотношения позволяют считать, что западины являются русловыми формами, выработанными потоком в коренном ложе. На участках западин днище расширяется и в его пределах фиксируется несколько эрозионных борозд, что, по-

видимому, связано с нестабильным положением палеоруслу. На повышениях плотика, представляющие собой скальные выступы, происходит сужение днища, отмечается один глубоковрезанный тальвег. Обычно западины и повышения плотика занимают довольно значительные по протяженности отрезки долин, образуя несколько сопряженных форм. На отдельных участках выровненной поверхности коренного ложа могут встречаться единичные западины.

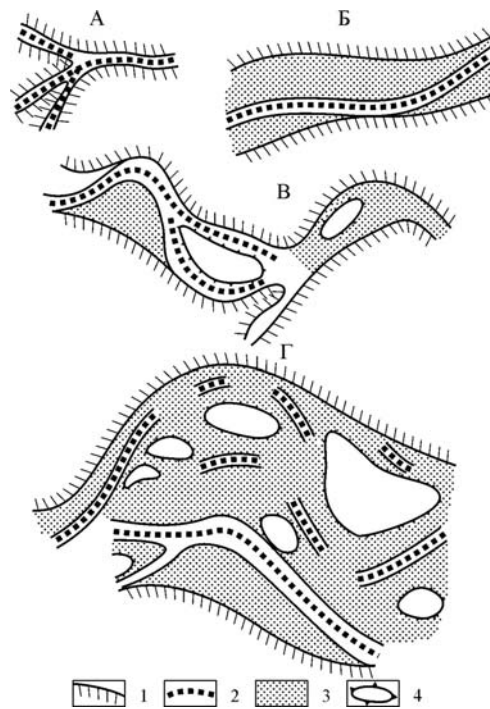
**Скальные побочни.** На некоторых участках полугорных рек (особенно на изгибах) русла, отмечаются повышения коренного ложа в виде гряд, вытянутых по диагонали к направлению течения. Они представляют собой скальные основания побочней и определяют стабильность их положения в русле как в течение исторически обозримых отрезков времени [Виноградова и др., 1999], так и на протяжении длительных геологических периодов.

**Уступы (структурные пороги).** Характерной особенностью рельефа поверхности скального ложа горных и полугорных долин является формирование структурных порогов, связанное с резкими изменениями уклонов коренного ложа на участках контакта пород с различной степенью устойчивости к размыву. Уступы четко выделяются на продольных профилях коренного ложа в виде резких перегибов. Относительная высота структурных порогов обычно не превышает 3-5 м, редко достигает до 7 м и лишь в единичных случаях имеет несколько большую величину.

**Эрозионные котлы.** У подножия крутых уступов нередко формируются эрозионные котлы. Эти формы скального рельефа описанные в литературе [Чистяков, 1978, Маккавеев, Чалов, 1986]. Они характеризуются значительной глубиной и образуются на участках резкого перепада высот коренного ложа.

**Карстовые западины.** На участках развития известняков осуществляется подрусловой карстовый процесс, и формируются своеобразные формы рельефа – очень глубокие локальные западины, заполненные плохо окатанными обломками (до 10-20 м). Образование глубоких карстовых воронок под слоем аллювиальных отложений в коренных породах особенно характерно для рек Ленского района.

Анализ рельефа плотика по данным маркшейдерских планов на контрольных участках показал, что поверхность коренного ложа долин практически никогда не бывает абсолютно ровной. Помимо выделенных мезоформ скального ложа в его рельефе выделяются и более мелкие морфологические элементы – небольшие западинки, выбоинки, трещины. Последние обнажаются на участках сильно раздробленных коренных пород, где отсутствует аллювиальный чехол, который срывается и удаляется течением при определенных гидродинамических условиях. В рельефе скального ложа долин на выровненных площадках – цоколях пойм и на эрозионных уровнях погребенных террас отмечаются неглубокие и беспорядочно ориентированные эрозионные ложбинки. Возможно, они выработаны пойменными палеопотоками.



**Рис. 39.** Основные типы скульптурно-эрозионного рельефа на участках водосборных воронок в верховьях долины и на участках развития русел: узкопойменного относительно прямолинейного неразветвленного русла воронок в верховьях долины (А), широкопойменного относительно прямолинейного неразветвленного русла (Б), меандрирующего (В), многорукавного (Г): 1 – коренные склоны, 2 – эрозионные борозды, 3 – цокольное основание поймы, 4 – цокольные острова.

### 6.3. Связь скульптурно-эрозионного рельефа с морфодинамическими типами русел

Морфология коренного ложа усложняется от водотоков низких порядков к более высоким и от верховий к нижнему течению. Основным фактором, определяющим формирование тех или иных сочетаний скульптурных форм рельефа коренного ложа, является смена морфодинамических типов русел по длине рек. Типы эрозионно-руслового рельефа в основном соответствуют морфодинамическим типам русел.

На верхних участках рек I-II порядков, где уклоны русел составляют 80-100‰ характер скального ложа относительно прост и выражен в виде одной узкой эрозионной борозды (до 5-15 м). Реконструированные палеорусла обычно прямолинейные или слабо извилистые, иногда переходят в



крутые коренные склоны, чаще врезаны в поверхность цоколей поймы с относительным превышением 1,5-2,0 м. Фрагментарно встречаются сегменты цоколей низких эрозионных уровней, обычно незначительной ширины. Иногда наблюдается раздвоение основного палеорула на два нешироких тальвега с узким коренным выступом между ними. На участках с более значительными уклонами возможна аналогия с порожиисто-водопадным типом русла, однако незначительные по высоте (до 1 метра) и часто расположенные по длине реки уступы не фиксируются при бурении.

Более сложная морфология коренного ложа наблюдается на полугорных реках III-IV порядков. Для них можно отметить несколько главных морфологических особенностей: 1) четковидное строение палеодниц, 2) увеличение числа и ширины эрозионных уровней, 3) значительные вариации уклонов по длине долин (от 5-2‰ до 10-30‰) 4) наличие участков с отрицательными уклонами, 5) извилистый характер палеорусел.

Нередко формирование излучин палеорусел сопряжено с впадением в долину притоков, влияние которых на врезающихся участках стимулирует отклонение русла, а на участках аккумуляции его притягивание к устью притока [Ламакин, 1951]. На реках средних порядков, на участках распространения русла горного с развитыми русловыми формами или полугорного, днище погребенных долин имеет четковидную форму, обусловленную западинно-перекатным типом рельефа коренного ложа. Своеобразный характер приобретает рельеф коренного ложа перед впадением притоков, которые нередко создают динамический подпор и оказывают отклоняющее воздействие на основное русло. В результате нестабильного положения палеорула перед впадением притока распадается на несколько веерообразно расходящихся вниз по течению эрозионных борозд.

На полого падающих участках крупных рек V-VII порядков при пересечении долиной неустойчивых к размыву коренных пород в сочетании с впадением оказывающих отклоняющее действие крупных притоков, русло имеет крайне нестабильное положение и в течение длительных геологических периодов испытывает значительные горизонтальные деформации. Общая ширина коренного ложа достигает сотен метров, а иногда и первых километров, поверхность коренных пород буквально изрезана многочисленными эрозионными бороздами, ориентированными в разном направлении, отмечаются многочисленные повышения коренного ложа – цокольные острова, также различной конфигурации и ориентировки с относительными превышениями 2-5 м и более. Нередко эти острова представляют собой останцы более древних эрозионных уровней. Форма островов изометричная, некоторые из них ориентированы по диагонали или даже перпендикулярно к направлению течения.

Скульптурные пороги формируются на горных участках рек как в относительно прямолинейном, неразветвленном, так и в извилистом русле. В некоторых случаях отмечается появление острова или серии цокольных островов выше или ниже порога.

#### **6.4. Роль литологии коренных пород и тектонических нарушений в формировании скульптурно-эрозионного рельефа**

Морфологическое строение коренного ложа в значительной мере обусловлено литолого-структурными факторами. В рельефе скального ложа может быть даже более четко, чем в аллювиальном русле прослеживается «приспособляемость» руслового потока к первичным литолого-тектоническим условиям.

Анализ особенностей морфологии скульптурно-эрозионного рельефа проводился для участков долин одних и тех же порядков, выработанных в породах с различной способностью к размыву. Общая картина морфологического строения коренного ложа рек во всех породах имеет много общего, т.е. скульптурно-эрозионные формы подобны, выделяются одни и те же типы коренного рельефа, но для более мягких пород отмечается большая контрастность русловых форм. Она проявляется в больших амплитудах относительных превышений различных форм рельефа, в более сложной конфигурации форм, в более частой смене типов рельефа. Малейшие изменения в «прочности» размываемых пород влекут за собой усиление различий в проявлении эрозионной деятельности потока. Так, в рельефе коренного днища, сложенного мягкими, податливыми к размыву породами, особенно в трещиноватых сланцах, имеющих широкое распространение в россыпных районах, скульптурно-эрозионные формы четко прослеживаются, как в днище, так и на эрозионных уровнях. На участках распространения твердых пород палеорула часто могут только намечаться в виде широких и неглубоких понижений в поверхности коренных пород. На некоторых участках их вообще невозможно выделить в пределах корытообразного днища. Положительные скульптурные формы в плане имеют плавные очертания. В расширениях днища многорукавность выражена слабо, часто прослеживается одна эрозионная борозда. Создается впечатление, что при взаимодействии с более «твердыми» монолитными породами коренного ложа поток обладает большей степенью консолидации в единое русло. «Избирательность» эродирующей деятельности потока весьма значительна. Особенно характерна она для участков с чередованием мягких и твердых пород. Нередко формирование палеомеандр связано с изменением направления эрозионной борозды вдоль более твердых коренных пород. Литология пород отражается и в морфологии структурных уступов. Их крутизна изменяется в диапазоне уклонов от 20-40‰ в породах преимущественно сланцевого состава до 40-70‰ в более твердых породах, например мраморизованных известняках, песчаниках, доломитах, в зонах прокварцевания и т.д. Размеры и глубина эрозионных котлов также зависит от литологии и трещиноватости пород. В мягких легко размываемых породах глубина эрозионного котла ниже порога может достигать более десяти метров.

Также как и литология пород, тектоническая обстановка в большой степени определяет избирательность эрозионной деятельности потока при его взаимодействии со скальными породами. Тектоническая раздробленность

коренных пород ложа приводит к усложнению его скульптурно-эрозионного рельефа (увеличение числа «островов» и эрозионных борозд). Типичный пример такого случая представляет собой участок реки Вачи в районе впадения р. Ныгри в Ленском золотоносном районе. Участок расположен в зоне пересечения крупных тектонических разломов, коренное днище представлено сильно раздробленными сланцевыми породами. Поверхность коренного ложа здесь буквально изрезана узкими щелевидными бороздами, между которыми с относительно большим превышением выделяются узкие острова, создавая своеобразный «пилообразный» рельеф скального ложа. На участках долин, где отмечается пересечение тектонических разломов разного направления, кроме усложнения морфологического строения днища, всегда отмечаются значительные переуглубления, генезис которых, по-видимому, предопределен снижением в зонах дробления устойчивости пород к размыву. Глубины, площади и конфигурация переуглублений чрезвычайно разнообразны и индивидуальны в каждом конкретном случае.

#### **6.5. Связь скульптурно-эрозионного рельефа с транспортом наносов и частиц золота.**

Скульптурно-эрозионный рельеф скального ложа долин, создаваемый потоком в процессе врезания в коренные породы, при небольшой мощности горного аллювия, является жестким каркасом, контролирующим транспорт наносов и определяющим стабильность участков их транзита и аккумуляции. Общая структура погребенных россыпей их конфигурация, также как и для россыпей, сформированных в современных реках, определяется морфодинамическим типом русла, который отражается в рельефе коренного ложа. Основной транспорт наносов в реках осуществляется в русле. Частицы золота, обладая большим удельным весом и небольшими размерами, попадая в сферу деятельности потока быстро проседают в нижний горизонт донных наносов и задерживаются в неровностях плотика. Поэтому наиболее обогащенные золотом струи аллювия приурочены к палеоруслу. На участках узкого днища погребенные россыпи, сформированные относительно прямолинейным неразветвленным руслом или врезающейся излучиной, функционирующих в период россыпеобразования, имеют форму узкой ленточной залежи, приуроченной к «глубокому тальвегу» (рис. 40А). В широкопойменном относительно прямолинейном неразветвленном русле наиболее высокие концентрации также прослеживаются вдоль «глубоких тальвегов». На выровненных площадках, представляющих собой цокольные основания пойм, содержания золота резко снижаются (рис. 40Б). В меандрирующем русле также отмечается приуроченность основных содержаний золота к палеоруслу, контуры обогащенных золотом струй повторяют форму излучин. На участках свободного меандрирования горизонтальные деформации излучин для горных рек, по-видимому, имеют дискретный характер, выраженный в том, что излучины на протяжении длительных геологических периодов резко изменяют свое положение. Об этом свидетельст-

вует рельеф скального ложа и конфигурация, приуроченных к эрозионным бороздам обогащенных золотом струй аллювия. В пределах широкопойменного днища нередко формируется несколько таких струй, повторяющих форму излучин, между которыми фиксируются участки с непромышленными содержаниями (рис. 40В).

Морфология скального ложа на участках многорукавного русла характеризуется большим количеством островов и эрозионных борозд. Они имеют различную конфигурацию, протяженность и ориентировку (рис. 40Г). Здесь происходит активное перераспределение участков транспорта и аккумуляции наносов. Ширина россыпи достигает значительных размеров. Внутренняя структура россыпи характеризуется сложным гнездовоструйчатым распределением золота. Высокие содержания золота отмечаются вдоль эрозионных борозд. Последние являются фрагментами палеорусел по которым осуществлялся основной транспорт наносов и частиц золота.

В многорукавном и меандрирующем типах русла участки с повышенными содержаниями золота нередко приурочены к головным частям и ухвостьям островов и побочней. Механизм процесса обогащения этих участков можно объяснить, опираясь на результаты стационарных исследований, проведенных на горных и полугорных реках Кавказа [Хмелева и др. 2000]. На побочнях в горных руслах с развитыми русловыми формами в течение разных периодов наблюдений отмечалось чередование процессов размыва и аккумуляции наносов. Независимо от типа русла размыв может охватить значительную площадь побочней. Чередование процессов аккумуляции и размыва наносов во времени и по длине побочней и островов определяет благоприятную обстановку для формирования участков с повышенными содержаниями золота. При аккумуляции происходит накопление частиц золота, а в дальнейшем при размыве наносов – их концентрация в нижнем горизонте аллювиальной толщи.

Связь распределения золота с рельефом коренного ложа отчетливо проявляется на западинно-перекатных участках. Характер распределения золота здесь свидетельствует о четко выраженной зависимости положения участков аккумуляции и транзита наносов от морфологии коренного ложа. Различный механизм формирования концентраций золота на участках с западинно-перекатным типом рельефа скального ложа был исследован при проведении экспериментальных исследований. Сущность его состоит в том, что на повышениях плотика осуществляется интенсивный транзит наносов, обуславливающий естественный шлиховой процесс и высокую концентрацию частиц золота в нижних горизонтах аллювия при мощности золотоносного пласта не превышающей первых метров. Преобладающий в западинах процесс аккумуляции наносов препятствует концентрации частиц золота и способствует их равномерному распределению в толще аллювия.

Проведенный анализ изменения количества частиц золота по вертикальному разрезу аллювия, начиная с нижнего базального горизонта с 0,5 метровым интервалом по длине участка с западинно-перекатным рельефом

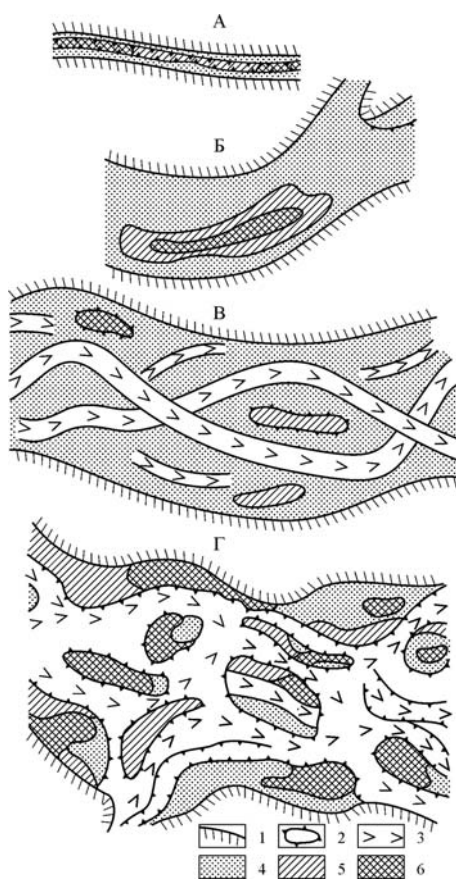
показал унаследованное положение пиков с максимальным количеством как мелких так и крупных частиц металла по всему вертикальному разрезу аллювиальной толщи (рис. 41). Результаты анализа позволяют сказать, что в течение всего этапа формирования толщи наносов положение участков транзита и аккумуляции оставалось стабильным, они не испытывали смещения по длине долины и были обусловлены рельефом скального ложа.

Связь распределения частиц золота с рельефом скального ложа и условиями транспорта наносов ярко проявляется на отдельных элементах излучин. Поперечные перемещения донных наносов в вершинах излучин способствует формированию у выпуклых берегов отмелей, у вогнутых – плесовых лощин [Маккавеев, Чалов, 1986]. У вогнутого берега излучины в скальном ложе формируются глубокие узкие западины. В межень в плесовых лощинах происходит накопление наносов, поступающих с перекатов. В половодье наносы на дне плеса приходят в движение и переносятся на нижележащие перекааты. При этом, попавшие в плесовые лощины тяжелые частицы золота задерживаются в нижнем базальном горизонте, образуя скопления с очень высокими содержаниями. У выпуклого берега содержания золота снижаются. Также как и для западинно-перекатного типа рельефа здесь проявляется устойчивость положения участков транспорта наносов в течение всего периода формирования аллювия.

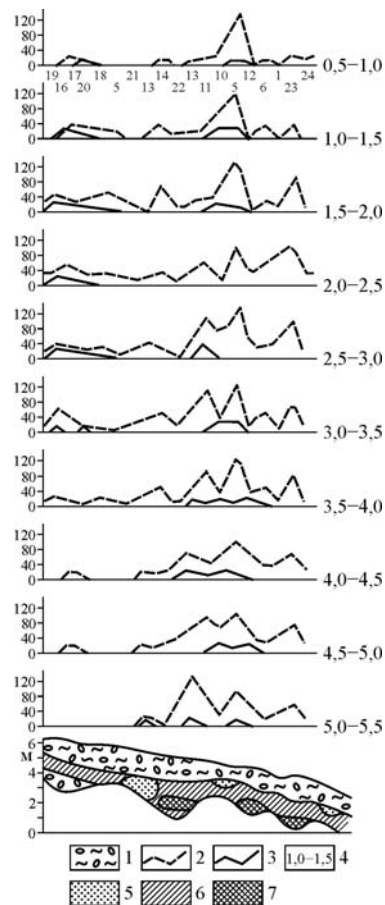
На уступах днища, где уклоны резко увеличиваются, вследствие интенсивного транспорта наносов происходит резкое обеднение россыпи, формируется золотоносный пласт небольшой мощности, для которого характерно увеличение крупности частиц золота.

Специфические условия создаются на локальных участках долин, сложенных породами, подверженными карстовым процессам. На таких участках под воздействием как русловых, так и карстовых процессов формируется особый тип россыпей. Карстовые воронки заполнены плохо окатанным материалом, золото рассеяно по всему разрезу рыхлых отложений.

Влияние скульптурно-эрозионного рельефа на транспорт наносов позволяет объяснить незначительные смещения аллювиальных форм в горных и полугорных реках с валунно-галечным аллювием. Относительно прямолинейные неразветвленные и меандрирующие типы русел горных и полугорных рек и сформированные в них скульптурно-эрозионные формы характеризуются высокой степенью устойчивости в течение длительных этапов формирования аллювиальной толщи. В горных реках гораздо контрастнее, чем в равнинных, проявляется закон взаимодействия потока и ложа. Поток создает определенный тип скульптурно-эрозионного рельефа, а последний определяет особенности проявления русловых процессов, транспорта и аккумуляции наносов и частиц золота. Устойчивость аллювиальных форм обусловлена скульптурно-эрозионным рельефом, создаваемым потоком при врезании в коренные породы. Скальные острова, побочни, перекааты являются ядрами создаваемых потоком аллювиальных форм. В зависимости от разных факторов наносы могут либо размываться и транспортироваться вниз по течению,



**Рис. 40.** Эрозионно-скульптурный рельеф коренного ложа и характер распределения золота на участках относительно прямолинейного неразветвленного (А), меандрирующего (Б), свободномеандрирующего (В) и многорукавного (Г) русла: 1 – борт долины, 2 – эрозионно-скульптурные формы, 3 – обогащенные золотом струи аллювия, приуроченные к эрозионным бороздам; содержания золота: 4 – низкие, 5 – средние, 6 – высокие.



**Рис. 41.** Продольный профиль ручья Американского и графики изменения количества частиц тяжелой фракции по 0,5 метровым интервалам вертикального разреза аллювия: 1 – аллювиальный горизонт; количество частиц диаметром: 2  $\leq$  1,0 мм; 3  $\geq$  1,0 мм; 4 – 0,5 метровые интервалы вертикального разреза аллювия; содержания частиц золота: 5 – низкие, 6 – средние, 7 – высокие.

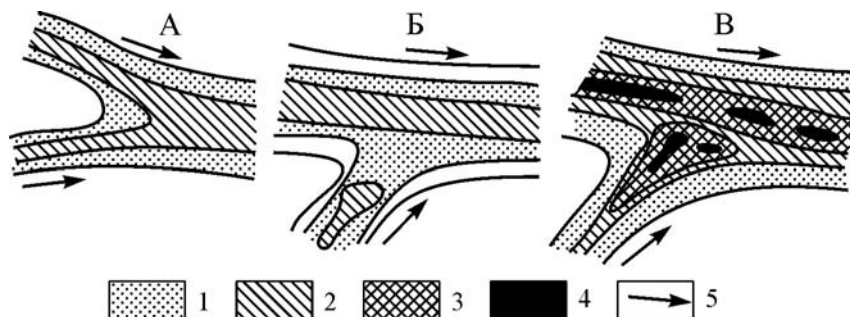
либо откладываться на скальных цоколях скульптурно-эрозионных форм или на их отдельных участках. Сами же формы остаются неподвижными. Частицы золота, обладая большим удельным весом и несоизмеримо меньшими по сравнению с валунно-галечным материалом размерами, перемещаются в придонном слое наносов и задерживаются на поверхности цокольных форм. Их распределение контролируется «жестким каркасом» коренного ложа.

## ГЛАВА 7

### СВЯЗЬ ФОРМИРОВАНИЯ РОССЫПЕЙ С РУСЛОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ В УЗЛАХ СЛИЯНИЯ РЕК

К узлам слияния притоков с главной рекой часто приурочены продуктивные россыпи с высокими содержаниями золота. Это связано с выносами металла из притоков и особенностями русловых процессов, развивающихся в условиях взаимодействия сливающихся потоков. Узел слияния рек включает два участка: 1) устье притока и 2) участок главной реки, находящийся под влиянием деятельности притока. Специфика проявления русловых процессов в узлах слияния обусловлена непрерывным взаимодействием сливающихся потоков, отличающихся гидравлическими характеристиками, величинами стока воды и наносов, морфометрическими характеристиками русел и строением долин.

Особенностям русловых процессов в узлах слияния рек уделяли внимание многие исследователи [Маккавеев, 1955, Чалов, 1979, Беркович, Зайцев, 1976, Никитина, 1989]. Значительно меньше изучалось их влияние на формирование россыпей и распределение золота. Это привело к крайне упрощенным методическим указаниям, которые сводились лишь к рекомендации заложения разведочной линии ниже впадения притока. Анализ более 80 узлов слияния в районах исследований показал, что в зависимости от сочетания факторов, определяющих механизм россыпеобразования, в узлах слияния формируются различные модификации россыпей.



**Рис. 42.** Изменение морфологического строения россыпи в узлах слияния рек низких порядков (Виноградова, Маорс, 1996): при впадении притока в основную реку: под острым углом на крутом участке (А), пологопадающего притока под прямым углом на пологом участке (Б), крутопадающего притока на пологом участке (В): содержания золота: 1 – низкие, 2 – средние, 3 – высокие, 4 – максимальные; 5 – направление течения.

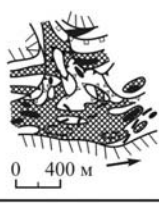
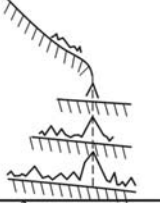
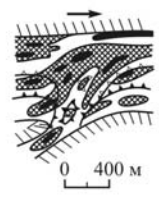
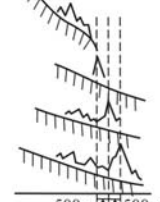

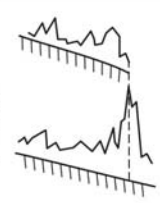
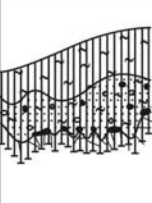

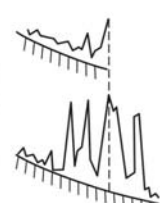
Эти модификации по механизму их формирования могут быть объединены в три основных группы: 1) формирующиеся на крутых участках главной реки, когда золото вынесенное притоком, транспортируется вниз по тече-



нию, формируя струю, постепенно сливающуюся с основной россыпью (рис. 42А); 2) формирующиеся в условиях подпора притока, при которых золото откладывается в устьевой зоне самого притока (рис. 42.Б); 3) формирующиеся на выположенных участках главной реки по типу конуса выноса, когда металл, вынесенный притоком, откладывается непосредственно ниже его устья (рис. 42В).

Большое влияние на формирование концентраций золота в узлах слияния оказывают сочетание порядков рек и угол подхода притока к основной реке. Л.В. Маорс [1995] в зависимости от этих факторов выделено три основных типа узлов слияния: I – узлы слияния водотоков низких (I-II) порядков, а также образующиеся при впадении последних в водотоки средних (III-IV) порядков; II – узлы слияния водотоков низких (I-II) порядков с водотоками средних – высоких (V-VII) порядков; III – узлы слияния водотоков средних (III-IV) и средних – высоких (V-VII) порядков. Различия в них определяют особенности скульптурно-эрозионного рельефа скального ложа с характерным для каждого из них распределением золота (рис. 43).

Типы узлов слияния	Подтипы узлов слияния	Морфологическое строение эрозионно-скульптурного ложа и распределение металла	Продольные профили водотоков выше и ниже узла слияния и графики обогащенности	Характерные поперечные профили через россыпь
Водотоков низких (I-II) порядков с водотоками низких (I-II) порядков и водотоками средних (III-IV) порядков	А с равными пологими уклонами продольного профиля и углами подхода $\approx 90^\circ$			 Условные обозначения I      II □ 1    □ 1 ▽ 2    ● 2a ▨ 3    ○ 2b ▩ 4    ○ 3 ▭ 5a    ~ 4 ▭ 5b ▭ 6a ▭ 6b III    IV ▨ 1    ⊙ 1 ▨ 2    → 2
	Б с равными пологими уклонами продольного профиля и углами подхода от $60^\circ$ до $90^\circ$			
	В при впадении крутопадающего притока на крутых участках продольного профиля долины основного водотока и углах подхода $\approx 90^\circ$			
	Г при впадении крутопадающего притока на пологих участках продольного профиля долины основного водотока и углах подхода $\approx 90^\circ$			

Типы узлов слияния	Подтипы узлов слияния	Морфологическое строение эрозионно-скульптурного ложа и распределение металла	Продольные профили водотоков выше и ниже узла слияния и графики обогащенности	Характерные поперечные профили через россыпь
Водотоков низких (I-II) порядков с водотоками средне-высоких (V-VI) порядков	А при впадении крутопадающего притока на пологих участках продольного профиля долины основного водотока и углах подхода $\approx 90^\circ$			
	Б при впадении крутопадающего притока на крутых участках продольного профиля долины основного водотока и углах подхода $\approx 60^\circ$			
Водотоков средних (III-IV) порядков с водотоками средних (III-IV) порядков и водотоками средне-высоких (V-VI) порядков	А при слиянии крупных крутопадающих водотоков под углом $\approx 90^\circ$			
	Б при слиянии крупных с пологими уклонами продольного профиля долины водотоков под углом $\approx 90^\circ$			

**Рис. 43.** Классификация россыпей узлов слияния водотоков низких, средних и средне - высоких порядков [Маорс, 1995]: 1 – реконструированные формы рельефа погребенных долин и русла: 1 – днище, 2 – террасоувал, 3 – склоны, 4 – пойма, 5 – уступы эрозионных уровней высотой, м: а – 3-5, б – 5-9, в – 10-15; б – палеорусловые формы: а – положительные, б – отрицательные; II – литологический состав рыхлых отложений: 1 – щебень, 2 – галька: а – кварца, б – других пород; 3 – песок, 4 – глина; III – содержания полезного компонента: 1 – средние, 2 – ураганные; IV – прочие обозначения: 1 – относительные превышения днища, 2 – направление течения.

*Подтип В.* При впадении притока с крутым продольным профилем на участках основной реки также с большими уклонами и углах слияния рек около  $90^\circ$  основные изменения наблюдаются в морфологическом строении скального ложа и распределении золота в главной реке. Обогащенная золотом струя основного водотока в узле слияния отклоняется к противоположному от устья притока борту, нередко образуя излучину. Максимум обогащения обычно располагается несколько ниже по течению от узла слияния.

*Подтип Г.* При впадении притока с крутым уклоном на участке основной реки с относительно пологим уклоном и углах их слияния около  $90^\circ$  в днище основной реки формируется западина либо выровненная площадка, на которой происходит аккумуляция золота, поступающего из притока. В этом случае формируется конус выноса притока в виде дельты выдвигения. Максимум продуктивности находится в основной реке и приурочен непосредственно к месту впадения притока. Значительное количество золота переносимого основным руслом, аккумулируется во внутренней дельте, формирующейся в условиях подпора со стороны притока. Если приток не содержит россыпи, золото в главную долину не поступает и ниже узла слияния может образоваться разрыв россыпи: весь металл откладывается выше впадения притока.

*Тип II.* При слиянии водотоков низких порядков (I-II) с водотоками средних – высоких порядков (V-VII) морфология скульптурно-эрозионного рельефа днища и характер распределения золота усложняется. Вследствие более интенсивного врезания главной реки из-за существенной разницы водности сливающихся рек приток в низовьях имеет большие уклоны, его продольный профиль приобретает выпуклую форму; у самых небольших притоков устье нередко висячее. Если половодье и паводки, во время которых происходит основное перемещение наносов, проходят на притоке раньше, чем на основной реке, притоки находятся в бесподпорных условиях, на них формируется кривая спада уровней. Большое количество золота при этом выносится в основную реку и откладывается непосредственно ниже узла слияния. В зависимости от углов подхода притока к главной реке и сочетания уклонов выделяется два подтипа.

*Подтип А.* При впадении притоков с большими уклонами на пологих участках продольного профиля основной реки при углах их соединения около  $90^\circ$  днище основной долины обычно расширяется, формируются выступы скального ложа высотой в несколько метров. В нижнем течении приток прорезает разновысотные террасовые уровни, свойственные долинам средних-высоких порядков. Русло притока на устьевом участке нередко разделяется на два рукава. Россыпь формируется непосредственно в узле слияния. Распределение золота и локализация россыпей усложняется, россыпи локализуются как в тальвеге, так и на разновысотных выступах скального ложа (эрозионных уровнях), представляющих собой цоколи террас.

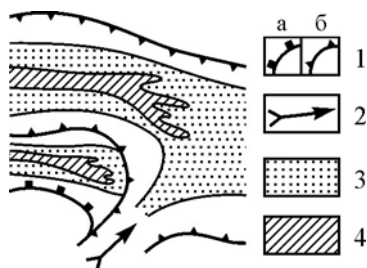
*Подтип Б.* При впадении притоков с большими уклонами на крутых участках продольного профиля главной реки и при угле подхода притока к главной реке около  $60^\circ$  скальное ложе притока на устьевом участке расширяет-

ся, приобретает форму воронки, наблюдаются выступы скального ложа (острова) высотой до 5 м, фрагменты эрозионных уровней. Золото, вынесенное из притока, образует струю, сливающуюся с россыпью основной долины.

**Тип III.** При слиянии водотоков средних (III-IV) и средних-высоких порядков (V-VI) порядков строение россыпи и скульптурно-эрозионного рельефа имеет наиболее сложный характер. Долины таких притоков характеризуются длительной историей развития, имеют обычно три-пять, а иногда и больше террас, на поверхности скального ложа которых (эрозионных уровнях) локализованы россыпи разных этапов формирования. Притоки характеризуются полугорным типом русла. Морфология формирующихся на таких участках россыпей отличается большой сложностью. В зависимости от углов подхода притока к основной долине выделяются два подтипа.

**Подтип А.** Слияние притоков с большими уклонами под углом около  $90^\circ$  с главной рекой сопровождается резким увеличением ширины днаща по сравнению с вышележащим участком. Рельеф коренного ложа характеризуется многочисленными бороздами разной ориентировки, между которыми прослеживаются фрагменты островов и останцов цоколей разновысотных террас. Непосредственно в узле слияния фиксируется значительное по площади и глубине понижение. Частицы золота откладываются в основном на участках, расположенных перед впадением притока и непосредственно на участке слияния в переуглублении днаща.

**Подтип Б.** При слиянии крупного притока с пологими уклонами под углом около  $90^\circ$  с главной рекой происходит миграция русла притока. В результате узел слияния представляет собой значительную по протяженности зону с несколькими эрозионными врезами, разделенных останцами эрозионных уровней главной долины. Россыпь характеризуется мозаичной картиной распределения золота и представлена фрагментами, расположенными на останцах эрозионных уровней и в эрозионных бороздах.



**Рис. 44.** Распределение металла в россыпях в условиях гидравлического подпора на участке впадения притока: 1 – россыпи террас, 2 – приток, 3 – участки с промышленным содержанием золота, 4 – максимально обогащенные участки.

Если приток создает подпор в главной реке, его влияние на морфологию россыпей проявляется и на участках, расположенных выше по течению от узла слияния. Уменьшение скоростей течения на таких участках вызывает разгрузку наносов и частиц золота и здесь формируется внутренняя дельта с повышенными содержаниями золота. Золотоносная струя распадается на серию веерообразно расходящихся струек с промышленным содержанием золота (рис. 44).

## ГЛАВА 8

### ЭВОЛЮЦИЯ ПАЛЕОРУСЕЛ И ПЕРЕФОРМИРОВАНИЕ РОССЫПЕЙ

#### 8.1. Преобразование россыпей в процессе эволюции палеорусел главных долин

Морфология долин с длительной историей формирования представляет собой “функцию не только взаимодействия различных факторов природной среды, но и ее исторического развития и является результатом изменений, которые испытала в различные этапы эволюции река” [Маккавеев, Чалов, 1986, с. 5]. Проследить эволюцию палеорусел и связанных с ними россыпей в течение длительных геологических периодов формирования долин довольно сложная задача. Для проведения палеорусловых исследований требуется детальное бурение рыхлых отложений, залегающих в долине, определение их возраста. Результаты разведочных работ, проведенных в россыпесодержащих долинах, представляют собой уникальный банк данных для проведения подобных исследований.

Реконструкция палеорусел и их динамики в течение нескольких эрозионных циклов и связанных с этими процессами особенностей преобразования россыпей, начиная с момента заложения долин и до современного этапа, проведена в Ленском россыпном районе [Виноградова, 2001]. В течение плейстоцена врезание долин неоднократно прерывались ледниковыми эпохами, когда долины заполнялись мощной толщей ледниковых отложений. После каждой эпохи оледенения в последующий эрозионный цикл реки размывали толщу рыхлых отложений и вновь врезались в коренные породы. В зависимости от соотношения скоростей поднятия и глубин базиса эрозии положения палеорусел прослеживаются либо на разновысотных уровнях погребенных террас, либо – при стабильном положении базиса эрозии в течение нескольких эрозионных циклов – на одном и том же эрозионном уровне.

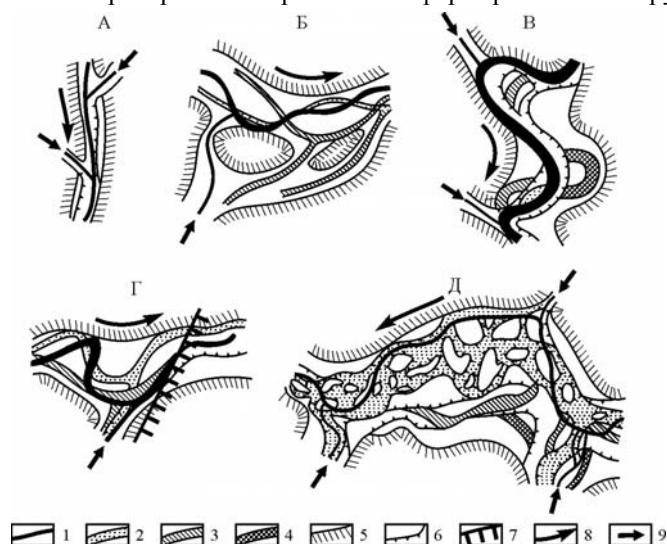
Анализ морфологии современных долин по крупномасштабным гипсометрическим картам и результатам маршрутных исследований позволил выделить следующие основные морфологически однородные участки, формирование которых обусловлено различными морфодинамическими типами русел и особенностями их горизонтальных деформаций в течение нескольких эрозионных циклов (табл. 28). К ним относятся: 1) узкие каньонобразные участки долин с шириной днища в среднем до 200 м, с крутыми коренными склонами и относительно прямолинейным, неразветвленным руслом; 2) значительные расширения долин с более пологими склонами – террасовалами, в пределах которых развиты свободные излучины; 3) участки развития врезанных излучин; 4) долинные меандры; 5) аномальные расширения долин (более 1,5 км) с широким заболоченным днищем, в пределах которого развиты крупные свободные меандры или происходит разветвление русла.

В горных и полугорных долинах формирование того или иного участка обусловлено сочетанием нескольких факторов – литологией пород и их устойчивостью к размыву, направленностью тектонических движений, влиянием притоков (табл. 28).

**Таблица 28. Морфодинамические типы русел и характер их деформаций на протяжении плейстоцена**

Морфодинамические типы русел	Факторы, определяющие типы русел			Устойчивость русел на протяжении плейстоцена	Положение узлов слияния на протяжении плейстоцена	Направление смещения устьев притоков
	Литология	Тектоническая структура, направленность ее развития	Влияние притоков			
Относительно прямое, неразветвленное	трудноразмываемые – песчанки, окварцованные песчанки	ось антиклинали, тектонические разломы	стимулируют образование одиночных излучин	устойчивое положение русел разных эрозионных циклов, их совмещение в плане	устойчивое	-
Свободно меандрирующее	легкоразмываемые – сланцы, известняки	поднимающийся борг антиклинали	стимулируют образование одиночных излучин	параллельное смещение русел вниз по склону	неустойчивое	вниз по течению основного русла
Врезанные излучины	трудно размываемые – песчанки, окварцованные песчанки	синклинали, стабильные блоки	стимулируют смещение излучин	неустойчивое положение, вплоть до инверсии в плане	неустойчивое	вверх и вниз по течению основного русла
Вьлужденные излучины	контакт пород с разной степенью размываемости	антиклинали, поднимающиеся блоки	-	незначительные плановые смещения излучин с сохранением их размеров и конфигурации	устойчивое	-
Разветвленное на рукава	легкоразмываемые – сланцы, известняки, трещиноватые, раздробленные породы	антиклинали, поднимающиеся и стабильные блоки	-	ограниченные деформации русла, увеличение кривизны излучин	устойчивое	вниз по течению основного русла до зоны контакта пород
		синклинали, стабильные блоки	стимулируют интенсивные смещения рукавов	интенсивные горизонтальные деформации	крайне неустойчивое	вверх и вниз по течению основного русла

Крупномасштабные палеогеоморфологические схемы, на которых выделялись элементы погребенных долин, сформированные в определенные эрозионные циклы, эрозионные борозды – палеоруслу и другие формы эрозионно-скульптурного рельефа, позволили реставрировать морфодинамические типы русел, функционировавших в течение этих циклов. Для выделенных участков путем сопоставления современного рельефа с реконструированным погребенным рельефом долин, прослежено изменения положения русел и особенности их горизонтальных русловых деформаций на протяжении нескольких эрозионных циклов. В зависимости от морфодинамических типов русел, характера русловых деформаций и особенностей эволюции форм русла, характера русловых деформаций и особенностей эволюции форм русла, характера русловых деформаций и особенностей эволюции форм русла, на протяжении нескольких эрозионных циклов разработаны основные схемы преобразования россыпей и формирования их структуры.

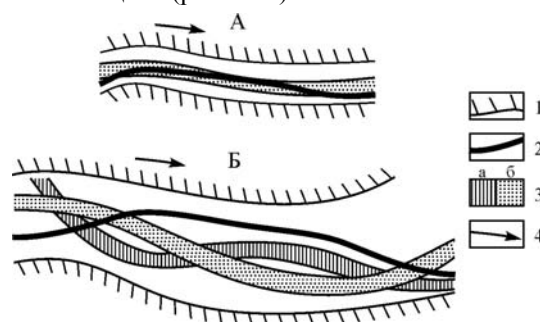


**Рис. 45.** Эволюция палеорусел и узлов их слияния с притоками низких порядков на участках русел: относительно прямолинейного неразветвленного (А), свободно меандрирующего (Б), врезанных меандр (В), вынужденных меандр (Г), разветвленного на рукава (Д); русла эрозионных циклов разного возраста: 1 – современное, 2 – позднелейстоценовое, 3 – среднелейстоценовое, 4 – раннелейстоценовое; морфологические элементы долин: 5 – борта долины, 6 – бровки эрозионных уровней и русловых форм, 7 – зона контакта легко и трудно размываемых пород, 8 – направление течения основной реки, 9 – притоки.

**Схема 1.** Узкие каньонообразные участки долин с относительно прямолинейным, неразветвленным руслом формируется в областях развития прочных коренных пород при пересечении рекой воздымающихся структур (табл. 28). Как современные, так и палеоруслу на протяжении всех эрозионных циклов практически не испытывали горизонтальных деформаций. При этом в каждый последующий цикл русло прорезало толщу рыхлых отложений и врезалось в коренные породы. Таким образом, формировалось узкое каньонообразное днище (рис. 45А). В некоторых случаях при слабой

извилистости русел происходили незначительные смещения, и на участках их планового разобширения сохраняются узкие фрагменты террас ранних циклов, перекрытых рыхлыми отложениями террасоувалов. На таких участках образуются небольшие расширения днища.

При последовательном врезании долины в течение эрозионного цикла на участках с относительно прямолинейным, неразветвленным руслом, характерна наиболее простая схема преобразования россыпей. На участках пространственного совмещения разновозрастных русел более древние россыпи перемываются и включаются в состав россыпей, образовавшихся в последний эрозионный цикл (рис. 46А).



**Рис. 46.** Эволюция палеорусел и связанных с ними россыпей на участке относительно прямолинейного неразветвленного русла при совпадении положения палеорусел (А); при их частичном разобширении (Б): 1 – коренной борт долины; 2 – современное русло; 3 – россыпи: а) среднеплейстоценового, б) позднеплейстоценового возраста, 4 – направление течения основной реки.

В случае неполного совпадения палеорусел в плане небольшие фрагменты более древних россыпей сохраняются по обеим сторонам врезающегося русла на останцах более высоких эрозионных уровней (рис. 46Б). В некоторых случаях при смещении относительно прямолинейного неразветвленного врезающегося русла россыпи разных эрозионных циклов прослеживаются на значительных по протяженности участках параллельно друг другу. Примером такой схемы эволюции русел и переформирования россыпей служит участок р. Бодайбо, где долина пересекает поднимающуюся антиклиналь, сложенную твердыми трудно размываемыми песчаниками (рис. 47). Современное днище долины узкое, глубоковрезанное, однако левый борт долины представлен пологим террасоувалом, под отложениями которого бурением вскрыт сложный погребенный рельеф, представленный несколькими эрозионными уровнями. Наиболее детально бурением вскрыта слабонаклонная к современному руслу терраса среднеплейстоценового возраста шириной около 300 м. и относительным превышением 70-80 м. На поверхности коренных пород этой террасы по данным бурения выделяется несколько узких прямолинейных глубоко врезанных эрозионных борозд, к которым приурочены струи аллювия с максимальными со-

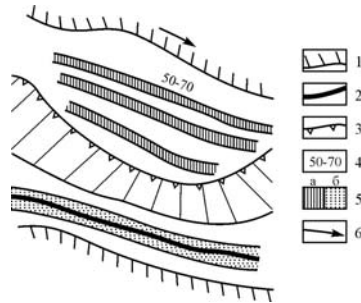


держаниями россыпного золота. Характер распределения металла и конфигурация эрозионных борозд свидетельствуют, что, как и на современном этапе, здесь функционировало узкое врезающееся прямолинейное русло, но благодаря поднятию левого борта долины в течение длительного этапа формирования этой террасы происходило смещение русла к правому борту. При такой модели формируется несколько россыпей, представляющих собой узкие ленточные залежи, свойственные относительно прямолинейному, неразветвленному руслу.

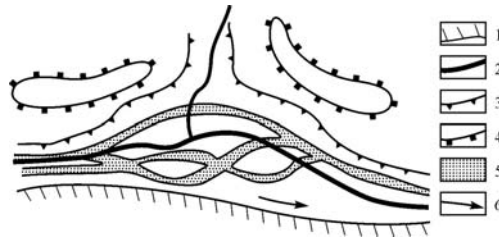
**Схема 2.** Одиночные расширения днищ долин с относительно прямолинейным, неразветвленным руслом в местах слияния реки с притоком сопровождаются наличием узких фрагментов низких террас, которые прослеживаются на стрелках сливающихся рек (рис. 48). Образование террас на таких участках обычно связывается с аккумуляцией наносов, вынесенных притоками. Однако рельеф коренного ложа долин свидетельствует о том, что террасовые площадки имеют эрозионный генезис. Под рыхлыми отложениями вскрываются цоколи узких эрозионных уровней, гипсометрические отметки которых соответствуют высоте одновозрастных эрозионных террас на бесприточных участках. Непосредственно в узле слияния с притоком относительно прямолинейное, неразветвленное русло главной реки образует, как правило, одиночную излучину, обращенную вершиной либо к противоположному борту, либо к притоку. Даже на протяжении одного эрозионного цикла положение излучины на участках впадения притока меняется – здесь в рельефе коренного ложа выделяется несколько эрозионных борозд дугообразной формы, вершины которых изменяли свое положение.

Таким образом, рельеф коренного ложа и характер распределения золота показывают, что в период формирования днища главной реки в узле слияния с притоком происходят смещения русла то к одному, то к другому борту долины. В результате формируется расширение днища, которое при врезании притока в последующий эрозионный цикл превращается в террасу. Неоднократное повторение этого процесса в течение нескольких эрозионных циклов приводит к образованию общего расширения долины. В итоге формирование и сохранность террас в узлах слияния рек связаны не только с аккумуляцией наносов, но и с эрозионной деятельностью реки в период формирования того или иного эрозионного уровня. Россыпи на таких участках представляют собой ленточные залежи, отчетливо прослеживающиеся в днище и фрагментарно на останцах террасовых уровней (рис. 48).

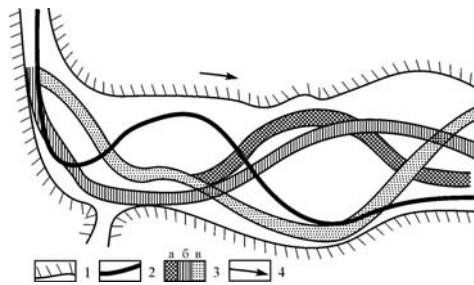
**Схема 3.** Значительные расширения долин на участках свободно мандрирующих в течение каждого эрозионного цикла рек (табл. 28, рис. 45Б). Примером такого развития является участок долины р. Вачи, названный Золотым руслом (рис. 49). Расширение днища современной долины по левому борту сопровождается пологим террасоувалом, рыхлые отложения которого перекрывают сложный погребенный рельеф, сформировавшийся в более ранние циклы.



**Рис. 47.** Эволюция палеорусел и связанных с ними россыпей на участках относительно прямолинейного неразветвленного русла в процессе поднятия борта долины: 1 – коренной борт долины, 2 – современное русло, 3 – бровка эрозионного уровня среднелейстоценового возраста, 4 – относительные превышения погребенного эрозионного уровня; 5 – россыпи: а) среднелейстоценового, б) позднелейстоценового возраста; 6 – направление течения современного русла.



**Рис. 48.** Эволюция палеорусел и связанных с ними россыпей при впадении притока на участке основной долины с относительно прямолинейным неразветвленным руслом: 1 – коренной борт долины, 2 – современное русло; бровки погребенных эрозионных уровней: 3 – среднего, 4 – раннелейстоценового возраста; 5 – палеорусла и приуроченные к ним россыпи позднелейстоценового возраста, 6 – направление течения.



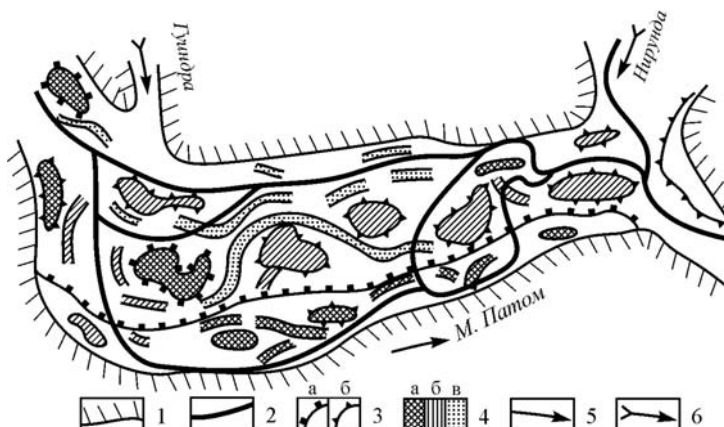
**Рис. 49.** Эволюция палеорусел и связанных с ними россыпей на участке свободно меандрирующего русла: 1 – коренной борт долины, 2 – современное русло; 3 – палеорусла и приуроченные к ним россыпи: а) раннего, б) среднего, в) позднелейстоценового возраста; 4 – направление течения.

Реконструкция палеорусел показала, что в каждый эрозионный цикл река образовывала крупную излучину. Излучины разных эрозионных циклов расположены на одном и том же уровне, так как врезание реки в каждый последующий после периодов аккумуляции эрозионный цикл достигало одной и той же гипсометрической отметки. Положение излучин значительно менялось, причем амплитуда их смещения относительно друг друга составляла десятки метров. Суммарная амплитуда горизонтальных деформаций составила около 1,0 км. В результате в течение нескольких эрозионных циклов было сформировано широкое погребенное днище долины, которое впоследствии заполнялось аллювиальными и флювиогляциальными отложениями. Современное русло свободно меандрирует, размывая эти отложения и образуя крупные излучины. Пояс меандрирования ограничен коренными бортами долины, образованной в предыдущие эрозионные циклы. Современная долина на этом участке образует значительное расширение, наследуя положение широкого погребенного палеоднища. Прослеживается четкая тенденция совпадения контуров россыпей разного возраста с положением палеоизлучин. Золотоносные пласты, сформированные в разные эрозионные циклы, имеют разную ориентировку на участках их пересечения. Фрагменты более древних россыпей перемываются при последующем врезе более молодых излучин. На участках, расположенных между палеоизлучинами встречаются обогащенные фрагменты россыпей, образованные в процессе перемыва аллювия. Строение россыпи в результате этих причин характеризуется значительной сложностью.

**Схема 4.** Врезанные и адаптированные излучины, сформировавшиеся в пределах интенсивно поднимающихся структур в зонах распространения трудно размываемых пород (табл. 28). В течение нескольких эрозионных циклов их положение в плане может меняться за счет незначительных горизонтальных смещений, амплитуда которых составляет несколько метров за один эрозионный цикл при полной сохранности конфигурации. На поверхности коренного ложа и на цоколях узких погребенных террас отмечается серия расположенных параллельно и как бы вложенных друг в друга эрозионных ложбин, имеющих форму излучин (рис. 45В, Г). За счет суммирования результатов горизонтальных деформаций, происходящих в каждый эрозионный цикл, формируются типичные долинные излучины. В процессе эволюции подобных врезанных меандр преобразование россыпей представляет достаточно простую схему. На поверхности коренного ложа и на цоколях узких погребенных террас формируется серия расположенных параллельно и как бы вложенных друг в друга россыпей, повторяющих в плане форму излучин.

**Схема 5.** Аномальные расширения долин, в пределах которых положение русла реки крайне неустойчиво. Они формируются при пересечении долиной синклинальной опускающейся структуры, сложенной неустойчивыми к размыву породами (табл. 28Д, рис. 45д). Неустойчивость русла обусловлена также отклоняющим действием одного или нескольких крупных притоков. Формирующиеся при этом своеобразные аллювиальные мик-

ровнины имеют местное название – “поляны” Они представляют собой широкие труднопроходимые заболоченные участки днища. Современное русло разветвленное или свободно меандрирующее. Восстановленный по данным бурения погребенный рельеф поверхности коренных пород имеет сложное строение. Он представлен многочисленными эрозионными бороздами разного направления и небольшой протяженности, разделенными цоколями островов и останцами разновозрастных эрозионных уровней. Погребенный рельеф коренного ложа является результатом деятельности свободно меандрирующего или разветвленного на рукава врезающегося русла, которое испытывало интенсивные горизонтальные деформации в течение нескольких эрозионных циклов. В связи с этим конфигурация островов и эрозионных борозд и их ориентировка характеризуется большим разнообразием. На отдельных участках прослеживаются довольно значительные по протяженности эрозионные уровни с аналогичным по сложности рельефом. Также как и в предыдущем случае в течение нескольких эрозионных циклов формируется сложный комплекс разновозрастных россыпей. Пример такого механизма формирования аномальных расширений дает участок р. Малого Патом в среднем течении, где его долина пересекает мягкие известняки и достигает ширины нескольких километров (Соловьиная, Центральная и Мариинская поляны) (рис. 50).



**Рис. 50.** Эволюция палеорусел и связанных с ними россыпей на участках многорукавного русла: 1 – коренной борт долины, 2 – современное русло; 3 – бровки эрозионных уровней: а) ранне-, б) среднелейстоценового возраста; 4 – россыпи, приуроченные к палеоруслам и останцам эрозионных уровней: а) ранне-, б) средне-, в) позднелейстоценового возраста; 5 – направление течения основного русла; 6 – притоки.

Днище долины представлено широкой выровненной заболоченной поймой: Помимо литологии коренных пород на морфологию долины оказало также влияние впадение крупных притоков - рек Гуиндры и Нирунды.

Относительно податливые к размыву породы и воздействию крупных притоков в разные эрозионные циклы способствовали интенсивной миграции русла и развитию широких эрозионных уровней, впоследствии погребенных под рыхлыми отложениями. Современная долина на таких участках наследует древние расширения (табл. 29). Таким образом, на всех уровнях формировался один и тот же тип русла, испытывающего интенсивные горизонтальные деформации. Несколько большие значения ширины современного дна относительно погребенного на участках Центрально и Мариинской поляны могут быть связаны с большей амплитудой горизонтальных деформаций современного русла, приводящей к размыву коренных бортов долины.

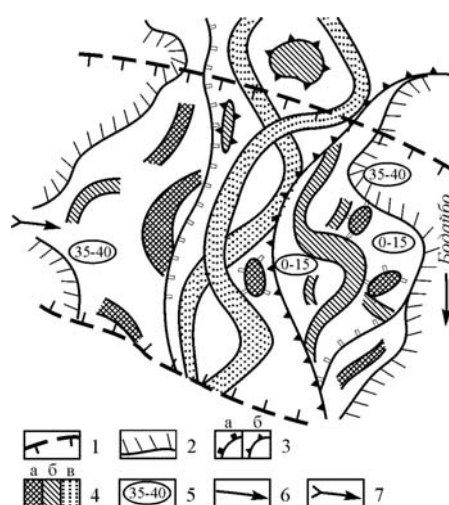
**Таблица 29.** Соотношение ширины современного дна с амплитудой горизонтальных деформаций русла в погребенном дне долины р. Малого Патома.

Участок (поляна)	Ширина современного дна, км	Амплитуда горизонтальных деформаций русла в погребенном дне, км
Соловьиная поляна	1,0	1,0
Центральная поляна	1,4	1,3
Мариинская поляна	3,2	3,0

В некоторых случаях формирование крупных расширений современных долин связано с пересечением долиной фрагментов долин древней гидросети, имеющей в плане иной рисунок. Такие древние долины, имеющие, в отличие от исследованных, субмеридионально ориентированных, субширотное заложение, выявлены в Леском районе [Золотарев, 1974]. На участках пересечения древних долин палео- и современное русла испытывают интенсивные горизонтальные деформации, образуя расширения дна. Нередко на участках пересечения в долину впадают практически напротив друг друга притоки. Они имеют субширотное заложение и наследуют положение древней долины. Впадение притоков, оказывая отклоняющее влияние на русло главной реки, также способствует развитию горизонтальных деформаций русла. Пример такого расширения долины представляет собой участок р. Бодайбо в нижнем течении, где она пересекает древнюю долину субширотного направления (рис. 51).

Русло р. Бодайбо образовывало в течение нескольких эрозионных этапов аномально крупные для этой реки крутые излучины, которые активно смещались в течение каждого эрозионного цикла, формируя широкие поверхности эрозионных уровней. Останцы этих разновысотных уровней, перекрытые рыхлыми отложениями, выражены в современном рельефе в виде отдельных фрагментов, создавая сложный морфологический облик долины. Последняя образовала своеобразное по форме значительное расширение (до 6 км), которое как бы “распласталось” по древней долине. Россыпь здесь соответственно достигает аномальной ширины. Эволюция россыпей на таких уча-

стках в принципе схожа с таковой в схеме 4 – здесь также характерна локализация фрагментов россыпей, как в днище, так и на разновысотных останцах эрозионных уровней. Их конфигурация и гипсометрическое положение крайне сложны. По существу они представляют собой мозаику из сложных разновозрастных фрагментов россыпей. Нередко встречаются «поперечные» к оси долины фрагменты россыпей. Абсолютные отметки поверхности коренного днища (плотика) резко варьируют, что определяет крайне сложные условия разведки и эксплуатации таких участков.



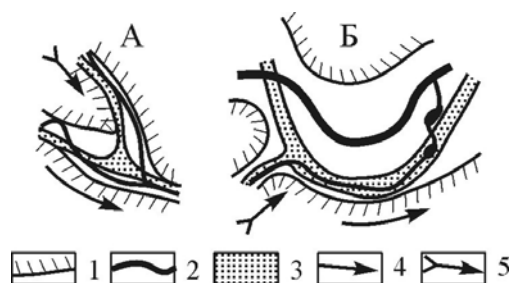
**Рис. 51.** Эволюция палеорусел и связанных с ними россыпей на участке пересечения р. Бодайбо древней долины: 1 – контуры древней долины; 2 – коренной борт долины; 3 – бровки эрозионных уровней: а) ранне-, б) среднеплейстоценового возраста; 4 – россыпи, приуроченные к палеоруслам и останцам эрозионных уровней: а) ранне, б) средне, в) позднеплейстоценового возраста; 5 – относительные превышения эрозионных уровней; 6 – направление течения основного русла; 7 – притоки и палеопритоки.

## 8.2. Преобразование россыпей в процессе эволюции узлов слияния

Проведенный анализ возраста аллювиальных отложений в реках Ленского района показал, что их притоки были заложены одновременно с главными долинами. Бурением в погребенных днищах притоков вскрыты раннеплейстоценовые аллювиальные отложения Ленского эрозионного цикла. Даже небольшие притоки I-II порядков пережили одновременно с основными долинами несколько эрозионных циклов, в течение которых формировался морфологический облик их устьевых областей, и происходило образование разновозрастных россыпей. Эволюция палеорусел в устьевых зонах притоков тесно связана с морфодинамическими типами русел основных до-

лин и характером их деформаций в течение разных эрозионных циклов (табл. 28)

Узлы слияния водотоков низких порядков (I-II) с главной рекой, имеющей относительно прямолинейное, неразветвленное русло или врезанные излучины, если угол их сочленения около  $90^\circ$ , характеризуются незначительными темпами горизонтальных деформаций в течение нескольких эрозионных циклов (рис. 45А, В). В результате происходит совмещение в плане разновозрастных палеорусел сливающихся рек. Долины в устьевых областях притоков, благодаря направленному врезанию, представляют собой каньоны с узким днищем и крутыми бортами. Россыпи, сформированные в устьевых зонах также узкие, их положение в течение нескольких эрозионных циклов «зафиксировано» устойчивым положением устья притока.



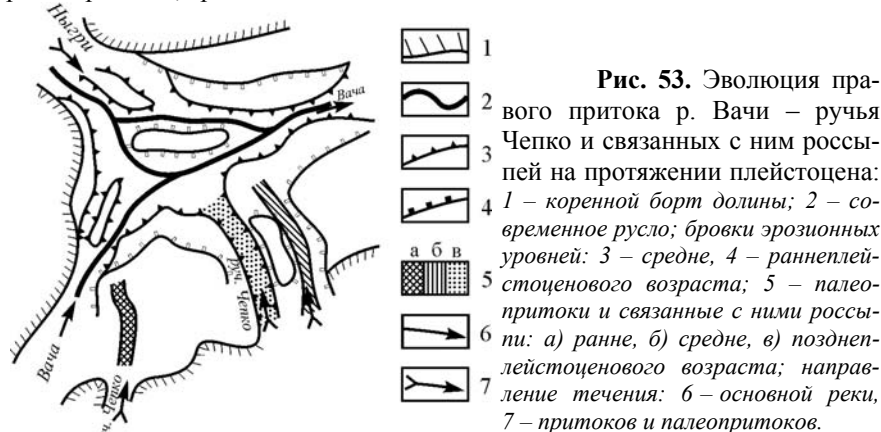
**Рис. 52.** Эволюция устьевых зон палеопритоков низких порядков, впадающих под острым углом на крутом (А) и на выположенном (Б) участках основной долины: 1 – коренной борт долины; 2 – современное русло; 3 – палеоруслу позднплейстоценового возраста; направление течения: 4 – основное русло; 5 – притоки и палеопритоки.

При впадении притока под углом в  $30-60^\circ$  и более интенсивном поднати верховьев главной реки устьевая область притока смещается вниз по течению (рис. 52А). В поперечном разрезе коренного ложа выделяется несколько эрозионных ложбин. В результате суммирования величин смещения в течение нескольких эрозионных циклов долина притока на устьевом участке расширяется. Положение россыпей разных эрозионных этапов не совпадают с современным положением притока, и они могут быть погребены под отложениями террасовала верхнего по течению основной реки борта долины.

При свободном меандрировании и разветвлении палеоруслу главной реки узлы слияния в отдельные эрозионные циклы могут смещаться как вверх, так и вниз по течению, подчиняясь горизонтальным деформациям основного русла (табл. 28, рис. 45Б, Д). В результате на таких участках может сформироваться широкая устьевая область, иногда даже превышающая ширину главной долины. В ее пределах выделяется несколько палеорусел, к каждому из которых приурочены россыпи соответствующего возраста. Аналогично предыдущему случаю эти россыпи в плане не совпадают с положе-

нием современного притока и могут быть перекрыты склоновыми отложениями. Нередко впадение современного притока происходит уже в пределах дна основной реки, и приток может наследовать ее палеоруслу, наращивать свою длину, резко меняя направление (рис. 45Б). Уклоны продольного профиля уменьшаются. В современном русле на таких участках отмечаются озеровидные котловины. В этих случаях под современным притоком, даже если он сам не содержит золота, на погребенном дне может залегать обогащенный фрагмент россыпи главной долины, переработанный притоком и имеющий диагональное положение.

На участках с аномальными расширениями долин из-за неустойчивости русла основной реки устья притоков могут в каждый эрозионный цикл образовывать самостоятельную долину, пространственно разобщенную с долинами, выработанными в устьевых областях в течение других этапов (рис. 45Д). В этом случае на участке впадения притока сохраняются пространственно разобщенные погребенные россыпи разных эрозионных циклов. Примером такой эволюции притока является ручей Чепко, впадающий в долину реки Вачи с правого борта (рис. 53). В его устьевой области под отложениями террасовала разведочными работами вскрыты три самостоятельных россыпи, сформированные в палеодолинах этого ручья в периоды раннего, среднего и нижнего плейстоцена.



Амплитуда смещения притоков зависит также от их порядка. Значительные горизонтальные смещения характерны для притоков низких порядков. Притоки средних порядков характеризуются более стабильным положением устьевых областей, но в их пределах также могут менять свое положение.

Таким образом, морфология долин и строение сформированных в них россыпей во многом обусловлено морфодинамическим типом русел и их эволюцией в течение длительных этапов формирования долин. Морфодинамический тип русла, свойственный тому или иному участку, сформировался при заложении долин в раннем плейстоцене. Уже тогда морфология



долин была приспособлена к тектоническому плану и литологии пород. В последующие эрозионные циклы при врезании реки вновь попадали в те же условия и неизменно формировали тот же самый тип русла. Такие особенности морфологии долин как их четковидность, ширина и форма террас и их распространение в долине, морфология устьевых областей притоков – нередко являются результатом горизонтальных деформаций русел в течение нескольких эрозионных циклов. Одни и те же формы долин могут быть обусловлены эволюцией русел различных морфодинамических типов. Расширение днищ и формирование широких террас могут быть связаны как с интенсивными горизонтальными деформациями свободномеандрирующего русла, так со смещением в течение длительных эрозионных циклов относительно прямолинейного неразветвленного русла по склону поднимающейся структуры

Схемы преобразования россыпей, разработанные на примере Ленского района, представляют собой наиболее типичные случаи, связанные с закономерностями эволюции различных морфодинамических типов русел и притоков в процессе последовательного врезания рек на протяжении нескольких эрозионных циклов. Эти закономерности переформирования россыпей проявляются и в других россыпных районах, так как принципиальная зависимость строения россыпей от морфодинамических типов русел обусловлена их горизонтальными деформациями, которые в известной мере имеют унаследованный характер.

## ГЛАВА 9

### ГЕНЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА РОССЫПЕЙ

#### 9.1. Общие принципы генетического метода анализа россыпей

На основе выявленных закономерностей формирования внутренней структуры россыпей разработан генетический метод анализа их строения, позволяющий провести реконструкцию механизма россыпеобразования и выявить генезис неоднородных по продуктивности и характеру распределения металла участков. Такой подход к изучению россыпи дает возможность получать объективные данные об особенностях ее строения и на ее основе решать практические задачи. Преимущество метода заключается в том, что его применение не требует получения каких-либо дополнительных данных о строении россыпи, кроме тех, которые уже получены в процессе ее поиска и разведки. По существу его применение сводится к анализу уже имеющихся данных с позиций принципиально нового подхода к россыпи, как результату деятельности русловых процессов. Основой генетического метода анализа россыпей являются положение о том, что распределение золота в россыпях подчиняется определенным закономерностям, обусловленным характером русловых процессов в долинах с разными типами русел и фациальной обстановкой накопления наносов на их отдельных участках. Россыпь является организованной структурой, отражающей характер поступления золота и его перераспределение в процессе транспорта и аккумуляции наносов.

Закономерности транспорта и аккумуляции наносов в пределах различных типов русел определяются локальными фациальными условиями, которые обусловлены рядом факторов – поступлением золота, рельефом плоская, положением участка россыпи относительно притоков и элементов форм русла. Выявленные закономерности являются объективной основой для создания концепции генетического строения россыпей, т.е. установления закономерностей распределения металла в пределах тела россыпи. Разработка этой концепции основана на изучении связи характера распределения металла в аллювии, изменения его крупности и морфологии с условиями в которых происходило формирование россыпей на отдельных участках долин. Основной таксономической единицей, характеризующей внутреннюю структуру россыпи, является *генетический тип концентраций металла*.

Впервые понятие генетического типа концентраций было введено Н.И. Маккавеевым [Экспериментальная геоморфология, 1978] в более широком смысле – генетических комплексов россыпесодержащего аллювия: привноса, транзита и аккумуляции. Каждый из них характеризуется определенными диагностическими признаками, являющимися следствием особенностей их формирования, позволяющими судить о дальности переноса обрывающих их частиц от источника поступления.

Проведенные исследования строения россыпей показали, что практически все неоднородности в их строении связаны с определенными фаци-

альными обстановками транспорта и аккумуляции частиц золота в долине. Механизм формирования этих неоднородностей определяет основные характеристики россыпи: особенности планового распределения золота, характера его концентрации по вертикальному разрезу, морфологические признаки и размеры частиц золота. Такие неоднородности названы генетическими концентрациями металла. Генетические концентрации металла можно рассматривать как часть фаций в понимании Г.Ф. Крашенинникова (1971) и Е.В. Шанцера (1965). Применяв их понятие фации к россыпям, мы можем определить понятие *генетический тип концентраций* как совокупность частиц золота, отличающаяся морфологией, крупностью, характером распределения в аллювии и фациальной обстановкой формирования.

Генетические концентрации по механизму своего образования могут быть объединены в три основных генетических комплекса, соответствующих россыпесодержащим комплексам аллювия: привноса, транзита и аккумуляции.

**Концентрации комплекса привноса.** В комплексе концентраций привноса выделяются две основные группы: первичные, сформированные в результате размыва рудопоявлений, и вторичные, которые формируются из частиц, прошедших этап экзогенной обработки. Общим их признаком является отсутствие связи с рельефом плотика. Роль русловых процессов в их формировании незначительна

В первую группу входит концентрация, образованная при размыве рудопоявления в коренном днище – плотике или в коренных бортах долины. При врезании потока в коренные породы, в случае нахождения в них рудных зон, золото поступает из элювиального горизонта и за счет выноса более легких частиц аллювия образует концентрацию плотикового привноса. Большое значение при этом имеет эффект сепарации. Непосредственно на участке поступления в россыпь золота из плотика характерно резкое увеличение крупности частиц, появление большого количества неокатанных и зерновидных форм. Высокие содержания металла фиксируются на значительной глубине в трещинах коренных пород. В плане образуется обогащенное металлом гнездо изометричной формы, имеющее тенденцию в нижней части вытягиваться по направлению течения. Иногда концентрации плотикового привноса формируются за счет рассеянной металлоносности в коренных породах. В таких случаях резкого обогащения россыпи не происходит.

Группа концентраций привноса, формирующихся за счет промежуточных коллекторов, включает концентрации склонового привноса, выносов временных водотоков, перемыва древних золотоносных террас.

Формирование концентраций склонового привноса происходит при подмыве рекой склонов долин и поступлении склоновых отложений, содержащих золото, в результате обвалов, оползней, плоскостного смыва, крипа, солифлюкции. Благодаря процессу дифференциации и сепарации, отложившиеся у подмываемого борта долины склоновые отложения, постепенно вовлекаются в сферу действия потоков, тогда как частицы золота,

благодаря своему большому удельному весу, остаются непосредственно на участке поступления, образуя перлювиальные россыпи. Характерным признаком концентрации склонового привноса является образование на фоне низких содержаний металла обогащенных гнезд в прибортовых частях россыпи в сочетании с присутствием во вмещающих их отложениях большого количества склонового материала. За счет вымывания мелких частиц увеличивается крупность золота. Характерно рассеянное распределение золота в вертикальном разрезе.

Концентрации, возникающие за счет поступления частиц золота из временных водотоков (оврагов, промоин, ложков), образуют серию слабо обогащенных гнезд, ориентированных по линиям тока. Они наиболее распространены в верховьях долин в виде привершинных струй, являющихся морфологическим отражением процесса «стягивания» обломочного материала. Характерно неравномерное распределение золота в вертикальном разрезе. По существу такие концентрации имеют делювиально-аллювиальный генезис и слабо влияют на продуктивность россыпи.

Поступление металла в россыпь может происходить за счет перемыва золотоносных отложений террас. В этом случае струи небольшой протяженности локализуются у подножия размываемой террасы. Мощность пласта обычно большая. Частицы золота характеризуется хорошей окатанностью, поскольку уже прошли обработку водным потоком в процессе формирования террасовой россыпи.

В особую группу выделяются концентрации, сформированные за счет поступления металла из притоков. Их роль в формировании россыпей очень велика, и по своему механизму формирования они могут быть отнесены к типу привноса по отношению к основной россыпи. В устьевых областях самих притоков формируются концентрации, созданные русловыми потоками. Морфология узлов слияния и характер распределения металла очень разнообразны и определяются сложными взаимодействиями русловых потоков впадающего притока и основной реки.

***Концентрации комплекса транзита.*** Попадая в основную долину, золото становится одним из компонентов наносов, переносимых рекой и транспортируемых русловым потоком вниз по течению. На участках активного транспорта наносов частицы золота образуют концентрации комплекса транзита, а частично откладывается на некоторых участках, образуя концентрации комплекса аккумуляции.

В комплекс транзита входит наибольшее число концентраций, морфологическое выражение их в структуре россыпи наиболее разнообразно. Для всех концентраций этого типа характерна максимальная связь с формами скульптурно-эрозионного рельефа, отражающими гидродинамическую обстановку и характер проявления русловых процессов на том или ином участке долины. Концентрации этого типа формируются на участках долин, где происходит активный транспорт наносов.

Основными концентрациями комплекса транзита является стрержневая концентрация, формирующаяся в эрозионных бороздах в процессе транспорта наносов, и прибортовая, формирующаяся на цокольной поверхности поймы. Стержневая концентрация в плане представляет собой узкую (до 60-80 м) обогащенную золотом струю аллювия протяженностью от несколько сот метров до полутора километров. Протяженность струи зависит от уклонов дна и водности потока. Эта струя прослеживается вдоль палеорусл (глубокого тальвега). Формирование концентраций стержневой струи происходит во время прохождения руслоформирующих расходов. В этот момент весь аллювий приходит в движение и осуществляется концентрация частиц золота в нижнем приплотиковом горизонте. Концентрации металла способствует эффект проседания тяжелых частиц, описанный Б.М. Осовецким (1986) и прослеженный при проведении экспериментальных исследований. Для концентрации стержневой струи характерна резкая дифференциация металла по крупности по длине участка, небольшая мощность металлоносного пласта (в среднем до 2 м). На выровненных площадках дна, представляющих собой скальное основание поймы, во время паводков также осуществляется транспорт наносов, но транспортирующая способность резко уменьшается за счет шероховатости. Количество транспортируемого металла также резко снижается. По мере снижения расходов воды на пойме металл осажается в виде беспорядочно ориентированных гнезд аллювия с повышенными содержаниями золота, образуя прибортовую концентрацию. Четкая выраженность этих концентраций и связь их с рельефом коренного ложа наиболее отчетливо проявляется на участках стабильного положения русел (относительно прямолинейное неразветвленное, врезанные меандры). В некоторых случаях наблюдается две или несколько стержневых струй, существование которых связано с горизонтальными деформациями русла. Между этими струями, также как и на прибортовых участках, формируется рассеянный тип распределения золота (межструйная концентрация).

На участках развития свободного меандрирования и деления на рукава в результате горизонтальных деформаций русла происходит неоднократный перемыв аллювия, в процессе которого металл «растаскивается» по ширине дна и формируется струйчато-гнездовой тип распределения металла. Стержневая концентрация выражена в виде фрагментов золотоносных струй с разной ориентировкой и конфигурацией. В некоторых случаях наблюдается две или несколько стержневых струй. Эти струи приурочены к раздвоению палеорусел, между которыми возвышаются цокольные острова. На цоколях островов формируются концентрации, приуроченные к их оголовкам и ухвостьям.

На участках развития «западно-перекатного» рельефа формируются концентрации западин и повышений коренного ложа. На повышениях осуществляется интенсивный транспорт наносов, происходит обеднение россыпи, формирование металлоносного пласта небольшой мощности. В западинах происходит снижение транспортирующей способности потока,

вызывающее частичную аккумуляцию металла, обогащение россыпи за счет увеличения мощности пласта. В плане на участках западин может произойти разделение стрежневой концентрации на две или три струи, приуроченные к эрозионным бороздам коренного ложа. На повышениях плотика обычно формируются узкие металлоносные струи незначительной мощности. На участках повышений плотика прослеживается тенденция увеличения крупности частиц за счет «вымывания» мелкого золота. В западинах крупность золота снижается.

В эрозионных котлах благодаря водоворотам происходит интенсивный процесс сепарации крупных частиц золота. Как показали проведенные эксперименты, мелкие частицы тяжелых минералов выбрасываются потоком из западины и уносятся вниз по течению. За счет накопления крупных фракций золота формируются очень богатые участки россыпей – концентрации эрозионных котлов.

В карстовых воронках под воздействием как русловых, так и карстовых процессов формируется особый тип генетической концентрации. Она характеризуется низкими содержаниями металла, рассеянного в мощной толще отложений, заполняющих карстовые воронки в днище долины.

В меандрующих руслах помимо концентраций стрежневой струи и прибортовой выделяется еще два подтипа концентраций: на плесе у подмываемого берега с максимальными глубинами и скоростями течения формируется концентрация плеса – значительно обогащенное золотом гнездо аллювия. У выпуклого берега обогащенность резко снижается и представлена в основном мелкими фракциями золота со струйчато-гнездовым типом распределения в плане.

Таким образом, концентрации комплекса транзита максимально связаны с рельефом коренного ложа, с различными фациальными обстановками формирования наносов, отражающих характер руслового процесса на различных участках долин и русловых формах скульптурно-эрозионного рельефа.

**Концентрации комплекса аккумуляции** формируются на участках долин с повышенной мощностью аллювия при синхронном накоплении аллювия и золота, на участках резкого снижения скоростей течения, на локально опускающихся участках долин, в условиях подпора перед впадением притока, в устьях притоков. Характерной особенностью концентраций этого типа является отсутствие вертикальной дифференциации золота по крупности. При постоянном поступлении металла формируется пласт повышенной мощности. Иногда формируется несколько подвешенных пластов. В плане эти концентрации имеют струйчато – гнездовую форму. Продуктивность россыпи возрастает за счет увеличения суммарной мощности пласта. Перед впадением притока в результате подпора формируется обогащенная золотом концентрация внутренней дельты. В плане она представляет собой серию веерообразно расходящихся перед впадением притока струй аллювия обогащенных золотом аллювия. На опускающихся участках долин происходит синхронный процесс накопления аллювия и золота, вследствие чего

процесс концентрации металла в нижнем горизонте аллювия не выражен. Концентрация аккумуляции, сформированная на опускающихся участках долин характеризуется повышенной мощностью пласта. Механизм формирования концентраций комплекса аккумуляции выявлен при проведении экспериментальных исследований. Он выражается в последовательном захоронении частиц в аллювиальных отложениях большой мощности.

Совокупность всех сформированных концентраций составляет генетическое строение россыпи. Каждая россыпь индивидуальна и неповторима; она питается за счет разных источников, поступление золота в нее может происходить на разных участках, неодинаковы гидродинамические условия, типы русел и характер плотика. В тоже время связь строения россыпей с характером русловых процессов позволяет реконструировать механизм формирования россыпи на каждом конкретном участке долины, определить тип образованной на нем генетической концентрации и прогнозировать характер распределения металла. Особенно ярко генетические концентрации металла выражены в долинах низких – средних порядков, сформированных в один эрозионный этап. Россыпи в таких долинах имеют довольно простое генетическое строение. Поступление новых порций металла в сравнительно небогатые россыпи долин за счет склонового и плотикового привноса и выносов из притоков дают заметное увеличение продуктивности и изменение морфологических особенностей металла. В долинах низких порядков набор русловых концентраций очень невелик – обычно это стрежневая струя, переходящая в условиях подпора в приустьевой части в концентрацию аккумуляции. В полугорных долинах средних порядков число концентраций комплекса привноса и их генетическое разнообразие возрастает, увеличивается и набор русловых концентраций. В таких долинах очень характерен западинно-перекатный тип рельефа коренного ложа, что определяет четковидность контура россыпи и неоднократную смену генетических концентраций транзита на повышениях коренного ложа и аккумуляции в западинах. Характерно большое разнообразие концентраций, формирующихся в устьевых зонах притоков, нередко перед их впадением формируется концентрация внутренней дельты.

Для крупных полугорных рек средних – высоких порядков генетическое строение россыпей наиболее сложное. Концентрации комплекса привноса в таких долинах выражены менее четко. С одной стороны, это определяется соотношением поступающего из притоков металла со значительными запасами россыпей основных долин. Небольшие по сравнению с продуктивностью основной россыпи порции металла могут не сказаться на ее обогащении. Более четко в крупных долинах диагностируются концентрации выносов притоков и плотикового привноса, тогда как поступление золота со склонов практически не фиксируется. Генетическое строение россыпей в крупных долинах определяется неоднократной сменой морфодинамических типов русел, с которыми связан общий характер контура россыпи. Узкие участки россыпи относительно прямолинейных неразветвленных русел с четко выраженной стрежневой струей сменяются участками расширения россыпей, сформирова-

рованных при интенсивных горизонтальных деформациях свободно меандрирующего и многорукавного русла. В процессе неоднократного перемыва золота и переотложения его по всей ширине дна распределение металла на таких участках носит хаотичный порядок с менее четко выраженной связью с рельефом коренного ложа. Генетическое строение россыпей крупных долин, имеющих длительную историю формирования, усложняется и характеризуется менее четкой выраженностью генетических концентраций в результате эволюции палеорусел, переотложения россыпей при размыве более древних эрозионных уровней и ряда других причин.

## 9.2. Методика применения генетического метода

Генетический метод осуществляется путем анализа распределения металла, его морфометрических и морфологических характеристик и их изменений по длине, площади и вертикальному разрезу аллювия. Результаты анализа позволяют установить генезис концентраций на основе реконструкции механизма их образования. При этом решаются две основные задачи: 1) где и каким образом происходило поступление золота в долину; 2) как оно перераспределялось в долине в процессе транспорта и аккумуляции наносов. Генетический анализ россыпей проводится в два основных этапа: 1) общий анализ россыпей; 2) определение их генетического строения (рис. 54).

**Материалы, необходимые для проведения генетического анализа россыпей.** Свообразие методики генетического анализа россыпей заключается в том, что она базируется на использовании материалов геологической документации, получаемых на разных стадиях геологоразведочных работ. Эти данные являются существенным, а иногда единственным (для погребенных долин) источником информации о строении россыпи. Из них извлекается максимальная информация, позволяющая судить о генезисе тех или иных участков россыпей. Данные геологоразведочной документации собирают и систематизируют одновременно с изучением и использованием всех материалов, касающихся геолого-геоморфологических особенностей района. Эти материалы содержатся в региональных отчетах либо в научно-производственной литературе. Для проведения анализа необходим блок информации, включающий три группы материалов.

Первая группа – первичные данные, полученные при поисково-разведочных работах. К ним относятся геологические разрезы с комплексом сведений, которые обычно содержатся в экспликации к ним и характеризуют такие параметры россыпи, как запасы золота, мощность пласта, гипсометрические отметки устьев скважин, данные ситовых анализов о гранулометрическом составе золота, сведения о морфологии, окатанности, пробности золота, наличии самородков и т.д. Основой для составления генетических схем являются геологоразведочные планы масштаба 1:5000 или 1:10000 с соответствующей нагрузкой (положение разведочных линий, скважин). На стадии эксплуатации россыпей эти материалы дополняются планами горных выработок с данными опробования.



Вторая группа объединяет схемы, графики и другие материалы, обобщающие данные первой группы, обычно представленные стандартными иллюстрациями в виде приложений к отчетам геологических организаций, непосредственно занимающихся разведкой россыпей. К ним относятся продольные профили россыпей с графиками изменения их отдельных характеристик, схемы вертикальных запасов, рельефа плотика и другие материалы. При их отсутствии они могут быть составлены при непосредственном анализе геологоразведочной документации. Определение характера распределения металла по вертикали разреза аллювия проводится либо непосредственно по данным о средних содержаниях металла по проходкам разведочных скважин, либо по построенным для этой цели графикам распределения содержания золота по вертикальному разрезу аллювия (эпюрам).

Определение генезиса концентраций основано на выявлении взаимосвязи строения россыпи с фациальной обстановкой ее формирования на данном участке. При определении последней используются продольные профили рек, а также составляются схемы рельефа коренного ложа долин. Эти схемы составляются на основе планов геологоразведочных работ (масштаб 1:5000 или 1:10000), на которых показано положение разведочных линий и скважин. По данным отметок поверхности коренных пород, получаемых путем вычитания отметок устьев скважин и мощности аллювия (эти данные содержатся в экспликациях к геолого-разведочным разрезам), детально отражаются основные элементы погребенных долин: эрозионные борозды, контуры пойменно-руслового комплекса, эрозионные уровни и скульптурно-эрозионные формы (западины, цоколи островов, карстовые воронки и т.д.) Такие схемы, в отличие от традиционно применяющихся при обобщении геологоразведочных работ карт рельефа плотика в изогипсах, дают более объективную информацию об условиях россыпеобразования и особенностях проявления русловых процессов на том или ином участке долины. Эти схемы составляются в том же масштабе, что и схемы распределения вертикальных запасов, что удобно при их сопоставлении. По продольному профилю определяется уклон днища, оценка которого дает представление о транзитном или аккумулятивном типе механизма формирования концентраций на том или другом участке россыпи. По схеме строения коренного ложа определяется тип русла (относительно прямолинейное неразветвленное, меандрирующее, разветвленное на рукава), положение участка относительно притоков (бесприточный, ниже или выше их впадения). Сопоставление этих схем с картой вертикальных запасов позволяет выявить связь распределения золота с формами рельефа плотика.

В третью группу входят схемы морфоструктурного строения и коренного рельефа исследуемой территории, которые встречаются в приложениях к отчетам. При их отсутствии они составляются специально с использованием данных двух первых групп. Схемы, составленные ранее при поисковых и поисково-оценочных работах в масштабе 1:50000 или 1:100000, уточняются или составляются в более крупном масштабе. Последнее связа-

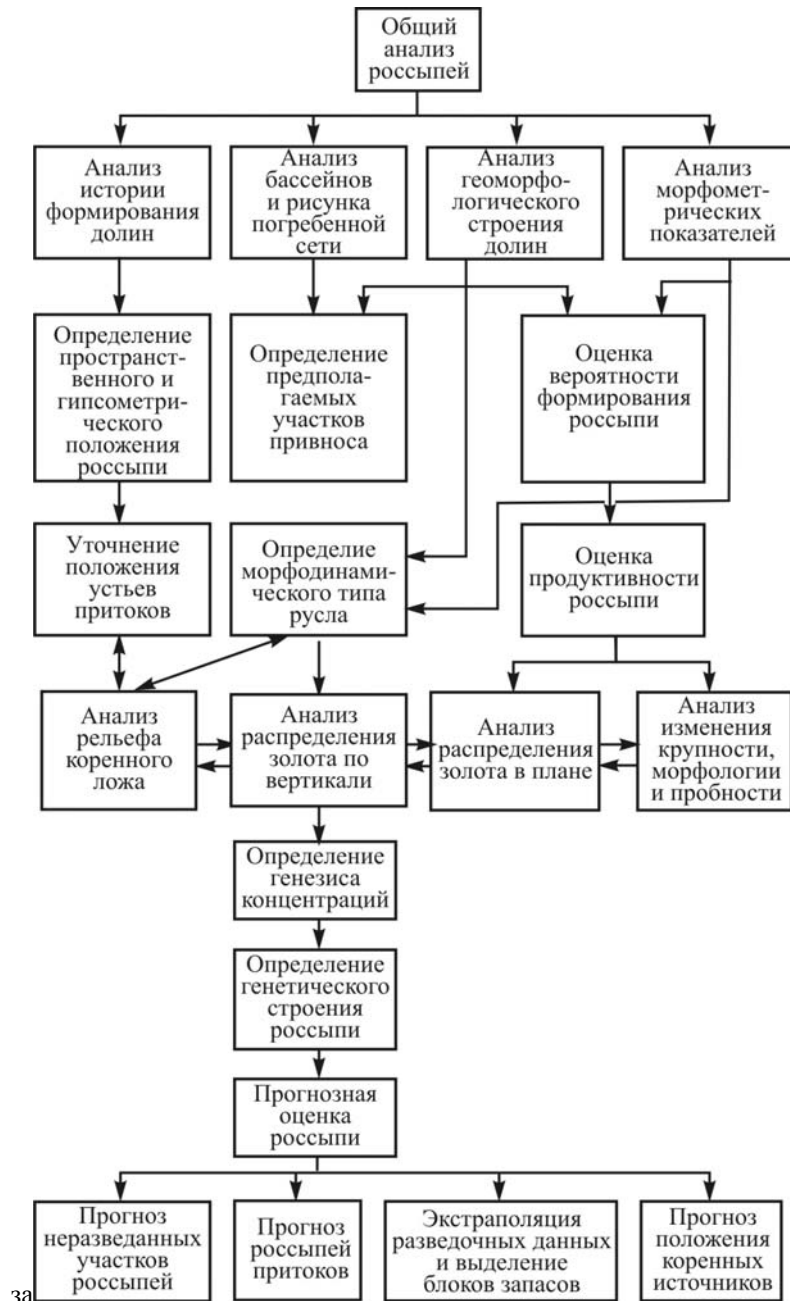


Рис. 54. Схема проведения генетического анализа россыпей.

но с необходимостью получения более детальных сведений о строении бассейнов россыпесодержащих долин. Их роль особенно велика при анализе бассейнов долин погребенной гидросети. При составлении схем рельефа коренных пород, позволяющих выявить условия формирования россыпей, используются: 1) поисковые линии, имеющие, как правило, большую протяженность и выходящие на борта погребенных долин; 2) данные вертикального электрического зондирования (ВЭЗ); результаты геофизических исследований.

**Общий анализ россыпей.** Анализ строения россыпей включает несколько этапов, последовательность которых может меняться в зависимости от конкретных условий (рис. 54).

Поскольку россыпи формируются в различные геологические периоды и в различной физико-географической обстановке непосредственному анализу генетического строения должен предшествовать общий анализ россыпей, связанный с историей формирования долин, и определение положения россыпей в долине и на ее различных геоморфологических элементах (пойме, русле, террасах).

Для выяснения условий, в которых происходил процесс россыпеобразования, необходимым является изучение истории формирования речных долин и выделение россыпей, относящихся к одной возрастной генерации. Применение генетического метода возможно в тех россыпных районах, в которых уже проведены поисковые и разведочные работы. При бурении долин геологами на основе данных споро-пыльцевых анализов отложений, слагающих долину, и другим признакам (состав отложений, их цвет, слоистость и т.д.) проводится выделение аллювиальных отложений, относящихся к разным этапам истории формирования долин, которые показываются на геологоразведочных разрезах. Таким образом, выделение россыпей разного возраста не требует проведения самостоятельных исследований. Необходимо только на основании имеющихся разрезов представить себе пространственное и вертикальное соотношение россыпей разного возраста. Оно может быть достаточно простым, как, например, в Алданском районе, где основные россыпи сформированы в современных долинах и являются мелкозалегающими. Для районов с погребенными россыпями обычно выделяются россыпи нескольких этапов формирования. Так, в Куларском районе, в котором процесс россыпеобразования происходил в два этапа, на основе геологоразведочных работ определены пространственное и вертикальное соотношение россыпей темирдэхского и онкучахского эрозионных циклов. Более древние россыпи сохранились лишь на небольших отрезках в нижнем течении погребенных долин на значительно больших глубинах, либо совмещены в плане или несколько смещены относительно друг друга. Встречаются и более сложные соотношения разновозрастных россыпей. Примером в этом отношении являются россыпи Ленского золотоносного района, в котором история формирования долин охватывает несколько этапов врезания, в течение которых осуществлялся процесс россыпеобразования. Про-

странственное и высотное соотношение россыпей разного возраста в этом районе отличается значительной сложностью, особенно в долинах высоких порядков. Хотя определение возраста россыпей является необходимым условием анализа геологоразведочных материалов, при составлении геологических отчетов этому вопросу не всегда уделяется достаточно внимания. Это, в свою очередь, приводит к значительным ошибкам при оконтуривании блоков запасов золота и их подсчете. Не менее важен учет соотношения разновозрастных россыпей в вертикальном разрезе долины. Здесь могут встречаться различные варианты: более молодые россыпи в результате формирования продольного профиля долины по типу «ножниц Мирчинка» могут залегать на более низких эрозионных уровнях по сравнению с более древними россыпями. Совмещение разновозрастных врезов в плане приводит к перемыву ранее образовавшихся россыпей. На участках развития свободного меандрирования в этом случае отмечается сложное взаимоотношение разновозрастных врезов – при их плановом совмещении более древние россыпи уничтожаются последующими врезами, тогда как на участках, где они разобщены в плане, более древние россыпи сохраняются в виде отдельных фрагментов. Таким образом, необходимым этапом генетического метода является тщательный анализ геологоразведочных разрезов и уточнение планового и высотного положения разновозрастных россыпей.

Особую роль при применении генетического метода при анализе россыпей погребенной гидросети приобретает анализ рельефа поверхности коренных пород бассейнов россыпесодержащих водотоков. Он отражает особенности палеорельефа, соответствующего периоду россыпеобразования. Анализ палеорельефа бассейна позволяет получить иногда единственную информацию о рисунке погребенной гидросети, о положении древних водоразделов, притоков и мелких эрозионных форм, дренирующих склоны долины – возможных путей перемещения золота из источника в долины рек. Анализ этих данных позволяет установить общий характер погребенных долин, их морфометрические характеристики (приблизительная оценка площади бассейна, порядка и протяженности долин, ее уклонов) и морфологические особенности – участки сужения и расширения, ориентировочное положение палеопритоков, крутизну склонов. По сочетанию морфометрических характеристик на этом этапе определяется тип русловых процессов, оценивается вероятность формирования россыпи в долине и на отдельных ее участках. Изменение морфологии долин позволяет наметить участки поступления металла из притоков. Важным моментом является анализ продольного профиля коренного днища и определение положения стрелы прогиба и характера распределения уклонов. Эти характеристики дают основание прогнозировать положение россыпи в долине.

*Анализ фациальных условий формирования россыпей.* Следующим этапом проведения генетического анализа является реконструкция рельефа коренного ложа россыпесодержащих долин, который отражает положение и морфологию русла в период формирования россыпи. Важным моментом яв-

ляется также реконструкция более мелких эрозионных форм, цокольных островов, западин, устьев притоков (в случае погребенных россыпей), которые определяют конкретную гидродинамическую обстановку механизма россыпеобразования на отдельных участках долины. Эта задача проста применительно к долинам низких порядков, поскольку россыпи в них приурочены, как правило, к пойменно-русловому днищу. В долинах более высоких порядков, которые развивались в течение нескольких эрозионных циклов, россыпи могут располагаться как в днище, так и на террасах. В этом случае важно определить границы россыпей разных циклов врезания и проводить реконструкцию форм русла на каждом эрозионном уровне. В случае погребенной гидросети анализ рельефа коренного ложа позволяет уточнить геоморфологическую позицию россыпей (приуроченность их к определенным эрозионным уровням), определить морфодинамический тип русла и фациальную обстановку, в которой происходило формирование россыпи (рис. 54). На этом этапе генетический метод анализа россыпей позволяет сделать прогноз общего характера строения россыпи на отдельных участках долин, который зависит от морфодинамических типов русел. На участках с относительно прямолинейным неразветвленным руслом можно ожидать узкую ленточную россыпь (стрежневая концентрация) приуроченную к тальвегу, выработанному потоком в коренном днище. На участках свободно меандрирующего русла можно прогнозировать формирование нескольких дугообразных в плане россыпей сложной ориентировки. На участках многорукавных русел, где формирование россыпи происходит по перстративному типу, то есть в результате неоднократного перемыва аллювия в процессе смещения отдельных рукавов, можно прогнозировать гнездово-струйчатый характер распределения металла, небольшую мощность металлоносного пласта и значительное увеличение ширины россыпи. В некоторых случаях при применении генетического метода в районах с погребенной гидросетью уже на этом этапе выявляются неразведенные фрагменты эрозионных уровней, устьевые зоны притоков. В соответствии с ожидаемой морфологией россыпи и характера распределения металла планируется заложение разведочных линий и густота разведочной сети.

**Определение типов генетических концентраций.** Определение типа генетических концентраций производится по данным геологоразведочной документации на основании диагностических признаков, выявленных при изучении натуральных россыпей и результатам экспериментальных исследований (рис. 55). В таблице показаны основные наиболее распространенные типы генетических концентраций и их диагностические признаки. К последним относятся: распределение золота в плане; положение металлоносного пласта в поперечном разрезе и его характеристики; характер распределения металла в вертикальном разрезе аллювия; морфометрические и морфологические характеристики частиц золота. По этой таблице, а при некотором опыте и без нее, основываясь на установленных закономерностях формирования генетических концентраций, проводится расшифровка внутренней структуры россыпи.

Комплексы концентраций		Типы концентраций		Распределение металла в плане по схеме вертикальных запасов	Положение металлоносного пласта в поперечном разрезе и его характеристика	Эпюры распределения содержания металла в вертикальном разрезе аллювия	Общая характеристика золота: крупность, окатанность, сортированность								
Концентрации приноса				1	Плоский		Обогащенное гнездо или серия изометричной формы		В трещинах коренных пород и в аллювиальном горизонте		Увеличивается процент крупных частиц, золото неокатанное, сортированность плохая				
				2	Склонный		Обогащенное гнездо в прибортовой части днаща, вытянутое по направлению течения		Серия металлоносных пропластков, металлоносность в шлейфе склоновых отложений на берегу долины		Преобладают элюзивные средней крупности, золото окатанное, сортированность хорошая				
				3	Переховая терраса		Обогащенное гнездо, вытянутое по направлению течения у подножия террасы		Металлоносный шлейф, западающий на склоне террасы, в разрезе аллювия отмечается серия пропластков		Как правило, увеличивается процент крупных частиц, золото окатанное, сортированность средняя				
				4	Выносы пригона в долину		Обогащенное гнездо в форме дельты выдвигается на участке впадения притока		Пласт большой мощности в пришлоковом горизонте, пропластки в верхнем горизонте аллювия						
					На пологом участке		Обогащенная струя, протягиваемая из устьевой зоны притока и сливающаяся с россылью основной долины								
				Концентрации гранита				1	Вершинная струя		Серия слабообогащенных гнезд, вытянутых вдоль тальвега		Незначительная металлоносность, связанная по всему разрезу провала		Увеличивается процент крупных частиц, сортированность плохая
								2	Ориентировано прямолинейных		Обогащенная струя вдоль тальвега, в берегах днаща слабая металлоносность		Пласт небольшой мощности в базальном горизонте аллювия		
								3	Многорукавых и булжающих русел		Серия обогащенных гнезд и струй небольшой протяженности и различной ориентировки				
								4	Коренные породы		Обогащенная струя делится на несколько своеобразно расходящихся струй		Большая мощность пласта в базальном горизонте		Преобладают элюзивы средней крупности, окатанность хорошая и средняя, сортированность плохая
				Концентрации аккумуляции				1	Внутренней дельты		Обогащенные гнезда изоэдрической формы и небольшой протяженности		Пласт большой мощности, растянутый по разрезу аллювия, либо серия обогащенных пропластков		Преобладает мелкое золото, окатанность и сортированность хорошая
								2	На опускающихся участках долины						



**Рис. 55.** Типы генетических концентраций и их диагностические признаки: 1 – содержание золота в россыти: а) незначительное, б) промышленное, в) максимальное; 2 – элювий; 3 – аллювий: а) галька кварца, б) галька других пород, в) заполнитель; 4 – коренные породы; 5 – зоны дробления коренных пород; 6 – уступы террас; 7 – линии тока; 8 – направление течения; 9 – разведочная линия; 10 – разведочная скважина.

При выявлении структуры россыпей, т.е. их генетического строения, выделяются два этапа: 1) определение участков неоднородных по степени обогащения и характеру распределения металла; 2) реконструкция условий формирования россыпей на этих участках. Соответственно, принцип определения генезиса неоднородных участков основан на сопоставлении факторов, определяющих механизм формирования россыпи на данном участке с их диагностическими признаками. Проведение анализа является дедуктивным процессом, по существу аналогичном проведению руслового и фациального анализа, и сводится к установлению причинно-следственных связей между обстановкой формирования и строением россыпи. При проведении генетического анализа используется метод актуализма, который основан на применении существующих представлений о механизме транспорта и накоплении наносов в современных реках. Условия, определившие механизм формирования концентраций золота в долине и на отдельных ее участках, определяются по комплексу признаков: типу русла и его морфодинамических разновидностей, уклонам продольного профиля, положению участка выше или ниже впадения притока, формам рельефа коренного дна. Комплекс этих признаков позволяет реконструировать конкретную фациальную обстановку формирования россыпи и ее отдельных участков. Затем или параллельно этому процессу по особенностям распределения металла в плане и по вертикальному разрезу аллювия в сочетании с характером дифференциации золота по длине россыпи или ее участка, изменению морфологии, окатанности и пробности частиц золота мысленно воссоздается трехмерная модель россыпи. Для правильного установления генезиса концентраций анализ совокупности всех этих признаков является особенно важным. Отдельные признаки могут быть характерны для разных концентраций и не дают однозначного ответа при определении их генезиса. Например, обогащенные металлом гнезда аллювия могут формироваться как на участках аккумуляции, так на участках многорукавных русел. Характерны они и при формировании концентрации плотикового привноса. Только при сопоставлении характера распределения металла в плане с характером его распределения в разрезе и с привлечением данных о морфологии и крупности частиц можно получить объективную характеристику строения россыпи на данном участке долины. Каждая из этих характеристик дополняет данные для оценки генезиса концентрации.

Распределение металла в плане нередко позволяет сделать предположение о генезисе концентраций. Так, наличие обогащенной струи, приуроченной к эрозионной борозде, позволяет отнести ее к стречневой концентрации, гнездовой тип распределения – к концентрации, сформированной в многорукавном русле или концентрациям комплекса аккумуляции. Анализ распределения металла по вертикальному разрезу аллювия также несет информацию о генезисе концентраций. Небольшая мощность металлоносного пласта свидетельствует о формировании концентрации на участках активного транспорта наносов, рассеянное распределение металла или наличие нескольких обогащенных металлом пропластков в разрезе аллювия

могут свидетельствовать об аккумулятивном характере ее образования. Небольшая мощность пласта также характерна и для концентраций плотикового привноса. Наличие пропластков свойственно концентрациям склонового привноса и выносов из притоков. Сопоставление этих признаков с данными о крупности и морфологии частиц металла и с условиями формирования концентраций позволяет сделать окончательный вывод о ее генезисе. Резкое увеличение крупности частиц золота, появление слабо окатанных частиц, изменение пробности металла позволяют отнести ее к концентрациям комплекса привноса, повышенное содержание мелких частиц, их хорошая окатанность указывает на формирование концентраций при значительном по протяженности транзите или аккумуляции.

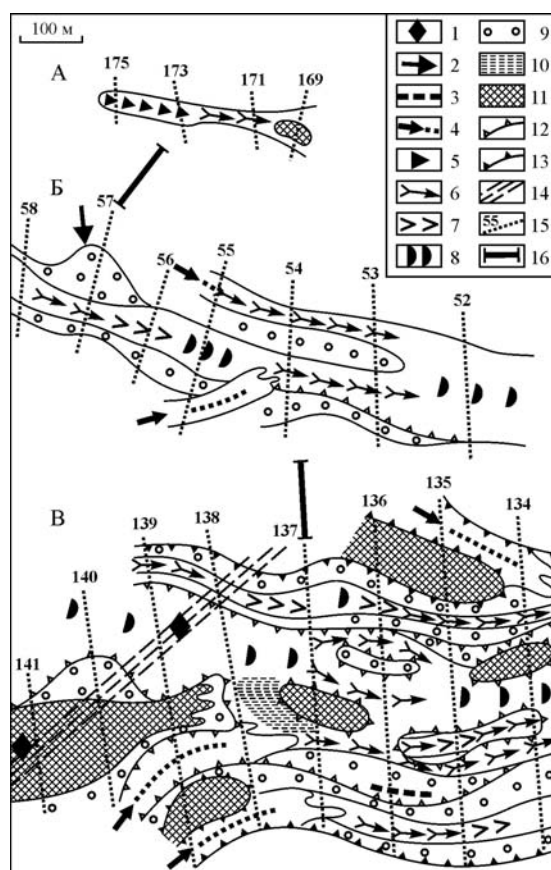
Таким образом, при проведении генетического анализа необходим комплексный подход к изучению россыпи. Непременным условием является исследование изменения всех признаков сверху вниз по течению.

Большое значение при проведении генетического анализа имеет рабочая гипотеза. На первых этапах при общем анализе россыпей, первом просмотре геологоразведочных разрезов, анализе отдельных характеристик россыпей и их изменении по длине долин, нередко уже на стадии общего анализа россыпей складываются определенные представления о генезисе различных участков. При последующем более тщательном анализе разведочных материалов следует обращать внимание на признаки, которые подтверждают или опровергают рабочую гипотезу. Эта же работа продолжается на всех этапах определения генезиса концентраций. Конечным итогом проведения генетического анализа является определение внутренней структуры россыпи, представляющей совокупность генетических концентраций.

**Составление генетических схем строения россыпей.** Результатом анализа структуры россыпей – генетическая схема. Ее основой служат разведочные планы с отрисованным на них погребенным рельефом коренного ложа долин. На схеме по разработанной легенде специальными знаками обозначают концентрации, оконтуривание которых в виде гнезд, струй и полей проводится с учетом морфологии погребенного рельефа. Один из разделов легенды включает практические рекомендации, которые являются основной целью анализа. К ним относятся контуры неразведанных участков россыпей, рекомендуемые для бурения разведочные линии и др. Фрагменты генетических схем представлены на рис. 56, на котором изображено строение россыпей в долинах разных порядков. Генетическое строение россыпей усложняется при возрастании порядка водотока и в зависимости от типа руслового процесса, определяющего механизм формирования россыпей. Так, по притоку I порядка, имеющему горное русло с неразвитыми аллювиальными формами россыпь представлена вершинной струей, переходящей в стрежневую концентрацию, которая на участке его впадения переходит в концентрацию аккумуляции (рис. 56А). На рис. 56Б анализируется участок среднего течения реки II-III порядков и выявленные в результате генетического анализа устья притоков, впадающих с обоих бортов. Основным типом концентрации здесь



является стрежневая струя с участками относительного обеднения и обогащения. Увеличение обогащенности наблюдается в расширении днища и в приустьевой части долины. Выявление зоны склонового привноса на левом борту, металлоносность соседнего притока позволяют прогнозировать его россыпь выше по течению. На основании этого здесь рекомендуется пробурить разведочную линию.



**Рис. 56.** Фрагменты генетических схем россыпей, сформированных в долинах разных порядков: генетические концентрации привноса золота в россыпь: 1 – плотиковый, 2 – склоновый, 3 – перемык террас, 4 – выносы золота притоками; концентрации транзита: вершинная струя, 6 – стрежневая струя, 7 – обеднение россыпи в сужениях днища, 8 – обогащение россыпи в расширениях днища; 9 – прибортовые и межструйные концентрации, 10 – участки разубоживания стрежневых струй, 11 – концентрации аккумуляции золота; бровки террас высотой, м: 12 – 3 - 5, 13 – 5 - 7; 14 – зоны тектонических нарушений; 15 – разведочные линии и их номера; 16 – разведочные линии, проектируемые по результатам генетического анализа.

Реконструированный участок россыпи в погребенной долине V порядка (рис. 56В), перекрытый рыхлыми отложениями мощностью 30-50 м, дает представление о многообразии генетических концентраций металла, свойственных россыпям этих долин. Строение россыпей днища и террасы свидетельствует о том, что питание россыпи происходило не только за счет золота, транспорт которого осуществлялся с выше расположенных участков, но и из локальных зон привноса металла, непосредственно на анализируемом участке. Так, россыпь, расположенная на первой террасе, подпитывалась за счет поступления металла при размыве днища (плотиковый привнос). Вторым источником ее подпитки служили два палеопритока, один из которых реконструирован впервые на основании генетического анализа. Преобладание гнездового типа распределения металла на участках днища и фрагментах террас ниже по течению – показатель того, что россыпь здесь была сформирована многорукавным руслом или при интенсивных деформациях свободно меандрирующего русла. Участок выше по течению от разведочных линий 137-135 оказался неразведанным, хотя здесь мог сформироваться фрагмент россыпи со значительной продуктивностью. В результате рекомендовано провести разведку этого участка.

Рассмотренные примеры касаются наиболее простых случаев проведения генетического анализа. Заложенные в основу метода принципы, касающиеся связи строения россыпей с особенностями русловых процессов и фациальными условиями транспорта и аккумуляции наносов, позволяют решать самые разнообразные вопросы, связанные с поисковыми геологоразведочными и эксплуатационными работами.

## ГЛАВА 10

### ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА РОССЫПЕЙ И ПОЛОЖЕНИЯ ПИТАЮЩИХ ИХ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Итогом генетического анализа являются рекомендации, касающиеся:

- 1) прогнозной оценки вероятности формирования и условий локализации россыпей в неразведанных долинах; в случае погребенных россыпей это могут быть фрагменты эрозионных уровней, отдельные обогащенные фрагменты россыпей, пропущенные при проведении разведочных работ;
- 2) выявление неразведанных участков погребенных россыпей;
- 3) оценка строения россыпей и определение оптимального направления и местоположения геологоразведочных линий, способа и густоты разведки в зависимости от прогнозируемого характера строения россыпи;
- 4) прогнозная оценка положения обогащенных участков россыпей на стадии эксплуатационной разведки;
- 5) прогнозная оценка строения россыпей на участках впадения притоков;
- 6) определение положения коренных источников по генетическому строению россыпи.

**Прогнозная оценка россыпей в долинах низких порядков.** В настоящее время в связи с увеличением доли добычи золота старательскими артелями возросло внимание к прогнозированию небольших по размеру россыпей или их фрагментов, характеризующихся высокой продуктивностью. В старых промышленных районах с длительной историей освоения россыпей локально обогащенные участки могут быть обнаружены в небольших долинах низких порядков, ранее детально не разведанных. Особенно актуален прогноз металлоносности долин низких порядков в районах, где речная сеть погребена под рыхлыми отложениями большой мощности. В подобных районах в первую очередь проводится разведка и освоение россыпей в крупных долинах, положение которых устанавливается по геоморфологическим признакам и по результатам геофизических работ, в то время как поиск небольших притоков в районах с погребенной гидросетью затруднен из-за их слабой выраженности в современном рельефе.

Результаты наших исследований позволили разработать методику комплексной оценки металлоносности и условий локализации россыпей в долинах низких порядков. Суть ее сводится к всестороннему анализу данных геологической съемки района, геологоразведочных и поисковых работ, основанному на теоретических представлениях о механизме формирования россыпей русловыми потоками. В итоге составляется прогнозная карта с указанием участков, рекомендуемых для разведки россыпи, разведочных линий и их ориентировки. Анализ включает в себя следующие действия:

1. Оценка геологической обстановки в бассейне притока для определения наличия коренных источников и их местоположения. На прогноз-

ную карту, основа которой представляет собой выкопировку из крупномасштабной топографической карты (масштаб 1:25000 или 1:50000), с геологических карт района исследований наносятся все признаки, свидетельствующие о вероятности присутствия в бассейне коренного источника. Это позволяет оконтурить участок возможной локализации коренных источников.

2. Выяснение путей транспорта металла в долину от установленных (или предполагаемых) источников и выявление участков долины, на которые поступал металл. Для этой цели от установленного (или предполагаемого) коренного источника проводятся «линии тока», являющиеся показателями направления перемещения материала по склону, и выделяется отрезок, на котором золото могло поступать из коренного источника. Устанавливаются также участки пересечения притоком металлоносных террас основной долины, древних металлоносных долин с иным плановым рисунком.

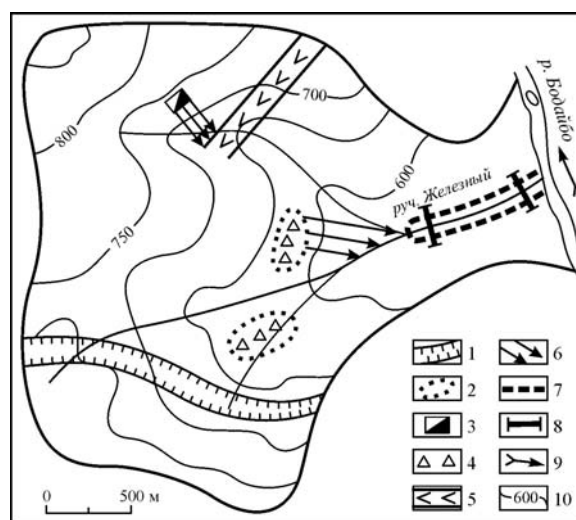
3. Оценка вероятности обнаружения россыпи в притоке на основании особенностей его морфометрических характеристик, распределения уклонов. Определение местоположения стрелы прогиба продольного профиля с целью прогноза участков, наиболее благоприятных для формирования россыпи (ниже стрелы прогиба, в зонах снижения уклонов, на устьевом участке).

В результате даются рекомендации по проведению разведочных работ с указанием положения разведочных линий на прогнозной карте. Применение методики в зависимости от конкретной геолого-геоморфологической ситуации в каждом районе может охватывать либо полный комплекс исследований, либо отдельные его этапы.

Привлечение данных по положению коренного источника в бассейне притока и определение участков поступления металла из установленных (или предполагаемых) коренных источников позволяет локализовать положение россыпи.

Пример выполнения такого анализа дает оценка металлоносности притоков низких порядков в бассейне реки Бодайбо Ленского золотоносного района. Прогнозная карта россыпной металлоносности этого ручья представлена на рис. 57. Положение притоков в наиболее перспективной на поиск россыпей части Бодайбинского прогиба, а в некоторых случаях и непосредственное пересечение рудных зон, позволяет предполагать, что в этих небольших долинах могли сформироваться россыпи, пригодные для отработки старательскими артелями. Все ручьи здесь очень небольшие по протяженности (до 2,5-4,0 км). Разведочные работы в притоках практически не проводились. Применение методики комплексной прогнозной оценки долин позволило оценить ручей Железный как наиболее благоприятный для поиска россыпи в связи с максимально благоприятным сочетанием геологических и гидродинамических условий и конкретизировать участки заложения разведочных линий. Правые притоки ручья дренируют одну из крупнейших рудных зон в районе. В правом и левом бортах долины в среднем течении установлены ареалы рассеивания золота и скопления обломков кварца. Ле-

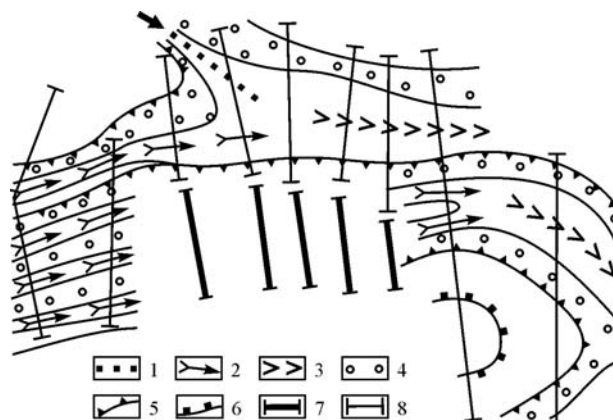
вый приток непосредственно пересекает коренное месторождение и зону маломощных кварцевых жил. Все это говорит о высокой вероятности поступления золота в долину. Долина имеет несколько притоков, относительно большую площадь бассейна и глубоко врезана в коренные породы. Это обеспечивает увеличение расходов воды вниз по реке и способности потока переносить поступающий материал и образовать россыпь. Участок ее возможной локализации в долине можно предположить ниже впадения левого притока и ниже по течению от стрелы прогиба продольного профиля, где уклоны резко снижаются, и происходит аккумуляция наносов. Наибольшее обогащение россыпи ожидается ниже впадения притоков, которые из-за больших уклонов могли выносить золото в долину. На этом участке рекомендовано заложить разведочную линию. Обогащенный участок может располагаться и в устьевой зоне исследуемого ручья, который впадает в основную долину – р. Бодайбо – практически под прямым углом на участке со значительно меньшими уклонами. Это обуславливает формирование россыпи в условиях подпора в устьевой зоне ручья. По результатам анализа было рекомендовано провести разведку этого участка. Последующее бурение подтвердило золотоносность ручья Железного.



**Рис. 57.** Прогнозная карта россыпной металлоносности притоков низких порядков долины реки Бодайбо (Ленский район): 1 – рудная зона; 2 – ореолы рассеивания золота; 3 – крупные рудопроявления, 4 – свалы кварца; 5 – зоны сблизенных маломощных кварцевых жил; 6 – линии тока; 7 – участок долины, рекомендуемый для разведки; 8 – рекомендуемые разведочные линии; 9 – направление течения; 10 – горизонтали.

**Выявление неразведанных участков погребенных россыпей.** Неразведанные фрагменты россыпей нередко выделяются уже при анализе

палеогеоморфологических схем погребенных долин. Такая ситуация приводится для россыпи Кристалл в Куларском районе. Положение погребенной долины не совпадает с современной. Мощность перекрывающих ее отложений достигает нескольких десятков метров. При реконструкции рельефа коренных пород и выделении разновысотных эрозионных уровней – пойменно-руслового комплекса в днище, низких террас с небольшими превышениями относительно друг друга, выяснилось, что фактически здесь разведаны лишь низкие левобережные уровни, тогда как днище разведано лишь частично (рис. 58). Анализ генетического строения участков россыпи, расположенных выше и ниже по течению показал, что на поверхности днища долины можно ожидать наличие обогащенных стречневых струй. На основании проведенного анализа рекомендовано провести разведку днища на этом участке.



**Рис. 58.** Прогнозная оценка россыпи Кристалл (Куларский район): генетические концентрации золота: 1 – выносов притоков; 2 – стречневая струя; 3 – обогащение россыпи в расширениях днища; 4 – прибортовые и межструйные; бровки погребенных террас высотой, м: 5 – 3-5, 6 – 5-7; 7 – разведочные линии, проектируемые по результатам генетического анализа.

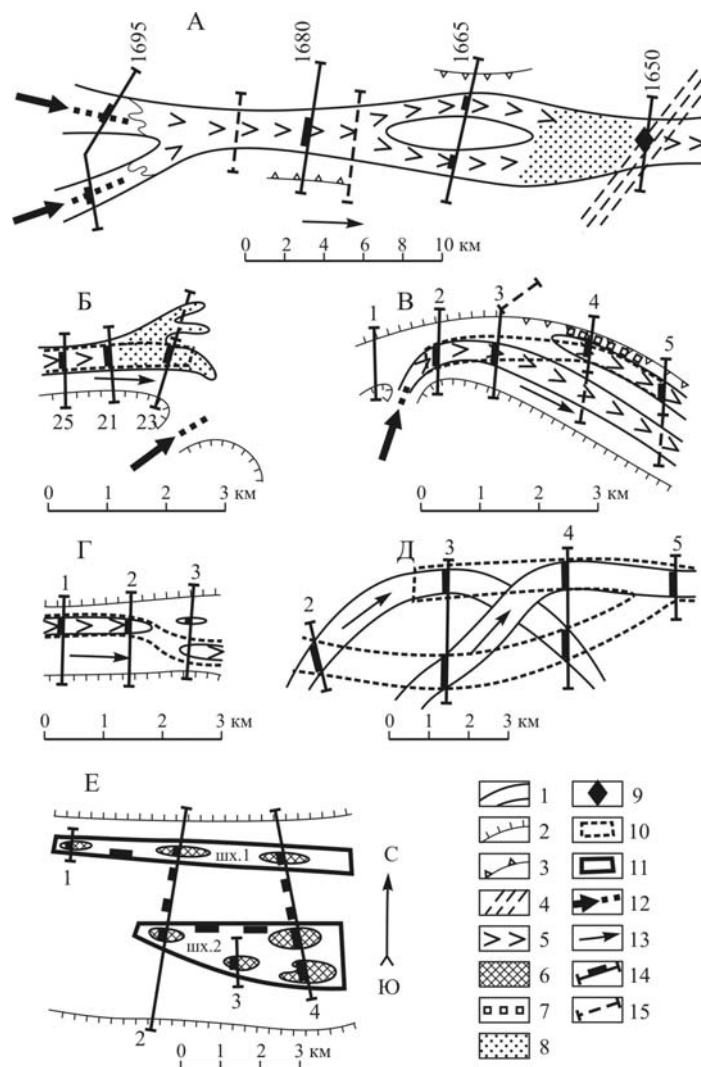
Уже на стадии поисковой разведки генетический метод позволяет прогнозировать общий характер распределения металла в долине, которые определяются морфодинамическим типом русла. При этом если для современных долин морфодинамический тип русла может быть определен визуально или по топографическим картам, то для погребенных долин для решения этой задачи могут привлекаться результаты геофизических исследований, дающих представление об уклонах и ширине днища погребенных долин. Кроме того, большую помощь могут оказать выявленные закономерности смены типов русел, их связь с литолого-тектонической обстановкой и устьями притоков, а также отражение эволюции различных морфодинамических типов русел в морфологии современных долин.

Определение морфодинамического типа русла позволяет прогнозировать контур россыпи. Для относительно прямолинейных неразветвленных и врезанных русел – это узкие ленточные залежи с наибольшей концентрацией металла вдоль палеорусла («глубокого тальвега»). Для свободноеандрирующих и многорукавных русел можно ожидать сложный контур россыпи, мозаичность расположения фрагментов россыпей на разных по высоте уровнях, хаотичное распределение металла. Это поможет определить способ разведки и густоту разведочной сети. В первом случае разведку россыпей рационально проводить наиболее распространенным способом – с заложением разведочных линий перпендикулярно к направлению палеорусел с интервалом в 200 м. Во втором случае сложный характер распределения металла и резкие изменения высотных отметок металлоносных пластов диктуют необходимость сгущения разведочных линий, бурение скважин по квадратной сети.

Разнообразие форм и размеров струй и гнезд, а также их сложное пространственное взаиморасположение обуславливают трудности и ошибки при объективной оценке продуктивности участка и характера распределения металла в его пределах. Как показал опыт работ в районах исследований и анализ общепринятых методик [Методика разведки.....,1992], применяемых при разведке россыпей, при выделении продуктивных участков практически не учитывается генезис обогащенных участков, поэтому в контуры блоков запасов нередко попадают участки, расположенные между разведочными линиями, которые не соответствуют прогнозной продуктивности. Это приводит к значительным ошибкам в подсчете запасов.

Учет генезиса концентраций, вскрытых разведочными линиями, позволяет более обоснованно оконтурить блоки запасов. Ниже приводятся несколько типичных случаев, демонстрирующих, как с помощью метода генетического анализа строения россыпей может быть повышена эффективность поисковых и геологоразведочных работ за счет более рационального заложения разведочных линий, определения оптимальной густоты разведочных выработок и способа разведки (рис. 59).

При поисковых работах вследствие редкой сети разведочных линий возможности метода более ограничены по сравнению с последующими стадиями освоения россыпей. Однако и здесь в ряде случаев с его помощью могут решаться конкретные оперативные задачи. Один из таких случаев представлен на рис. 59А, который демонстрирует строение фрагмента погребенной россыпи в долине р. Мамы Ленского золотоносного района. Россыпь была вскрыта на стадии поисковой разведки ниже по течению от слияния двух притоков поисковыми линиями, расстояние между которыми около 600 м. В результате бурения установлено, что россыпь, протягиваясь вдоль тальвега, залегает на поверхности дна и на эрозионном уровне высотой 4-7 м. На более высоких уровнях россыпи отсутствуют. Наиболее обогащенная золотом струя вскрыта в эрозионной борозде («глубоком тальвеге») врезанной в дно. Ее продуктивность на участке вскрытом разведочной линией 1680 значительно больше по сравнению с продуктивностью фрагмента россыпи, вскры-



**Рис. 59.** Фрагменты генетических схем россыпей с рекомендациями по их разведке на поисковой стадии (А), на стадии разведки (Б, В, Г, Д), на стадии эксплуатации (Е): 1 – эрозионная борозда (палеорусло); 2 – коренной борт долины; 3 – бровки террас; 4 – зона трещиноватости; 5 – стрежневая концентрация; 6 – гнездо с высокими содержаниями золота; 7 – концентрация перемыва террас; 8 – участки объединения россыпи; 9 – концентрация плотикового привноса; 10 – контур блока запасов; 11 – границы шахтных полей; 12 – золотоносные притоки; 13 – направление течения; 14 – разведочная и поисковая линии с интервалами скважин с кондиционными содержаниями золота; 15 – рекомендуемые разведочные линии.



того разведочной линией 1665. При сопоставлении данных ситового анализа и морфологических характеристик частиц золота по этим линиям наблюдается снижение крупности частиц россыпного металла вниз по течению. Характер распределения металла позволяет предположить генетическое единство россыпи между указанными линиями. Этот фрагмент представляет собой стрежневую концентрацию и является частью элементарной россыпи, сформированной за счет поступления металла с верховий долины. Вниз по течению от разведочной линии 1665 следует ожидать постепенное обеднение россыпи. Однако следующая разведочная линия 1650, расположенная на 600 метров ниже по течению от разведочной линии 1665, показала увеличение продуктивности россыпи. Данные бурения зафиксировали признаки плотикового привноса: присутствие сростков кварца, наличие крупных неокатанных золотинок на большой глубине в трещиноватых породах коренного ложа – плотика. На этом участке долина пересекает зону разлома. Все эти признаки указывают на разный генезис концентраций золота, вскрытых разведочными линиями. Результаты анализа позволили рекомендовать заложение разведочной линии на участке в 200-400 м ниже слияния притоков с целью вскрытия богатого металлоносного пласта в зоне аккумуляции выносов из притока, провести бурение короткими разведочными линиями с густотой 20x200 м на участке стрежневой струи с целью ее оконтуривания. На участке плотикового привноса, где может быть вскрыто локальное по площади, но значительно обогащенное гнездо, желательнее провести бурение по квадратной сетке. При оконтуривании блоков запасов нецелесообразно объединять кондиционные содержания между этими линиями в один блок, так как они характеризуют различные по генезису участки россыпи, между которыми могут оказаться пустые фрагменты.

На поисково-оценочной стадии разведки, особенно детальной, значительно возрастает круг вопросов, которые могут быть решены с помощью генетического метода. Некоторые примеры, касающиеся этого момента, были продемонстрированы при описании методики составления генетических схем. Приведем еще несколько примеров. При разведке погребенной долины россыпи Улахан-Юрюйе в Куларском районе в тальвеге между разведочными линиями 23-25 выявлена обогащенная металлоносная струя (рис. 59Б). Учет ее положения выше устья правого притока позволяет предположить, что здесь, в условиях подпора, создаваемого притоком, могла сформироваться концентрация внутренней дельты. В этом случае стрежневая концентрация, прослеженная разведочной линией 23, могла преобразоваться в несколько металлоносных струй, веерообразно расходящихся по ширине днища перед впадением притока. Несколько пустых скважин левого фланга разведочной линии 23, очевидно вскрывших межструйный слабо обогащенный участок, дали основание закончить бурение этой линии. Установление генезиса концентрации металла на этом участке позволили рекомендовать продление левого фланга разведочной линии рядом со скважинами. При их бурении установлена значительная продуктивность россыпи и получен прирост запасов золота.

Другой пример иллюстрирует случай, когда в процессе разведки погребенной россыпи линиями вскрыты промышленные содержания металла, давшие основание выделить контур блока запасов (рис. 59В). Результаты генетического анализа показали, что здесь наблюдается два металлоносных пласта разного генезиса. Первый пласт – у правого борта долины вскрытый разведочными линиями 1-3 сформирован за счет металла, выносимого притоком. Второй пласт (разведочные линии 4-5) тяготеет к левому борту и связан с перемывом россыпи более высокого уровня террасы. Разный генезис этих концентраций подтверждается также морфометрией и морфологией частиц золота в россыпях каждого фрагмента. В запланированном геологами по результатам разведки контуре блока запасов оказался пустым участок между разведочными линиями 3-4, а фрагмент стрежневой струи между разведочными линиями 3 и 5 с промышленными содержаниями остался вне контура блока запасов. С целью увеличения запасов за счет этого возможно продуктивного участка рекомендовано проследить стрежневую струю путем продления правых флангов разведочных линии 4 и 5. Для подсечения металлоносного пласта на террасе рекомендовано продлить левый фланг разведочной линии 3.

Аналогичный случай включения в контур блока запасов пустого участка представлен на рис. 59Г. Контур россыпи в плане, выделенный без учета генетического строения, имеет прямоугольную форму, на участке разведочной линии 3 изгибается к правому борту долины. Генетический анализ строения россыпи показал, что в один контур объединены две генетические концентрации, разные по механизму образования: стрежневая струя, вскрытая разведочными линиями 1-2, обедняется ниже по течению (разведочные линии 2-3). Левый фланг разведочной линии 3 вскрывает ее «хвосты». По ее правому флангу зафиксированы высокие содержания, связанные с плотиковым привносом (поступление металла в результате размыва рудопроявления). Эти факты дают основание считать, что между разведочными линиями 2-3 содержания металла будут незначительны. При объединении этих двух разных по генезису фрагментов в один контур блока запасов будет включен «пустой» непромышленный участок россыпи, отработка которого будет нерентабельной.

При изучении структуры погребенных россыпей, особенно в долинах средних и высоких порядков, помимо учета особенностей распределения металла в отдельных типах концентраций, важно реконструировать динамику русла в процессе формирования россыпи. Конфигурация относительно прямолинейного неразветвленного русла часто определяет конфигурацию россыпи. Эта закономерность усложняется при образовании и развитии излучин. На рис. 59Д показано положение двух металлоносных пластов, оконтуренных при разведке россыпи Кристалл в днище погребенной долины. Контурные пластов, выделенные по промышленным содержаниям золота в скважинах ряда разведочных линий, расположены в днище долины практически параллельно друг другу. Результаты генетического анализа показа-

ли, что здесь вскрыты фрагменты двух палеорусел, врезавшихся в коренное ложе долины. Первый пласт сформирован в вершине плавной более молодой излучины, а второй приурочен к верхнему крылу более древней, относительно которой молодая излучина сместилась вниз по течению. Различные условия формирования пластов определили особенности распределения металла в этих излучинах. Для более молодой из них, образовавшейся в условиях интенсивного врезания потока, характерна высокая степень концентрации металла по вертикали разреза – металлоносный пласт небольшой мощности (до 1 м) приурочен к элювиальному горизонту и к нижнему горизонту аллювия. Металлоносный пласт, сформированный в более ранний этап, имеет большую мощность (до 2,5 м). Для него характерно рассеянное распределение частиц золота в вертикальном разрезе. При недостаточном внимании к структуре россыпи на этом участке в блок, расположенный у левого борта долины включены концентрации металла, сформированные в вершине более молодой излучины и в нижнем крыле более древней. Блок запасов, выделенный в днище у правого борта, также объединяет фрагменты излучин разного возраста. Таким образом, между разведочными линиями 3-4 в контур блока запасов включен пустой участок. Южный контур блока состоит из участка, который включает 80% площади нерентабельной для отработки. В итоге по этому участку в результате оконтуривания блоков подсчета запасов без учета генезиса концентраций запасы металла будут значительно ниже, чем предполагалось при подсчете.

***Прогнозная оценка россыпей на стадии эксплуатационной разведки.*** В основу прогнозной оценки россыпей на стадии эксплуатационной разведки заложен тот же принцип учета генезиса концентраций, который позволяет скорректировать границы обрабатываемых участков.

Пример использования генетического анализа при эксплуатационной разведке дан на рис. 59Е, на котором изображен участок погребенной россыпи Кристалл, сформированной в днище долины реки V порядка. На нем выделено два блока запасов, объединяющих скважины с промышленными содержаниями металла по соседним разрезам, разделенные участками с некондиционными содержаниями металла. По отдельным скважинам они имеют промышленные значения, но не включены в контуры блоков подсчета запасов. Эксплуатационное опробование выявило промышленные значения содержания на флангах обрабатываемых блоков. Генетический анализ россыпи позволил определить, что участок расположен в расширении долины, где россыпь формировалась в многорукавном русле, в процессе миграции которого происходил перемыв металлоносного аллювия и формирование гнездово-струйчатого типа распределения золота в плане. На основании этого было рекомендовано провести эксплуатационную разведку между этими блоками, что позволило объединить контуры в один блок запасов, увеличить площадь отработки и добыть больше золота.

***Прогнозная оценка россыпей на участках впадения притоков.*** При разведке россыпей тщательного анализа заслуживают участки впадения

притоков. В случае их золотоносности их выносы образуют обогащенные концентрации. Притоки оказывают влияние на структуру россыпи в основной долине.

При разведке россыпей в современной речной сети и россыпей, сформированных в погребенных долинах с унаследованным формированием речной сети, то есть в случае фиксированного положения притока, задачи прогноза сводятся к учету различных вариантов формирования концентраций. Их морфология определяется соотношением уклонов дна притока и основной долины, углом впадения притока, порядком притока и крупностью поставляемого им металла. Учет этих факторов позволяет прогнозировать форму и положение концентрации, образованной выносами притока и выбрать оптимальное место заложения и направление разведочной линии. Ниже приводятся основные варианты прогнозной оценки и способов разведки для основных типов узлов слияния, описанных в главе 7. Большое разнообразие особенностей формирования россыпей в узлах слияния притока с главной рекой определяют необходимость более детального анализа условий формирования россыпей на таких участках при их прогнозной оценке (рис. 41А)

Узкая обогащенная струя металла образуется при впадении притока под острым углом на крутом участке основной долины. Ее разведку следует проводить короткими линиями, заложенными перпендикулярно направлению струи. Если приток выносит мелкий металл, зона обогащения оказывается смещенной вниз по течению от устья притока. Вынос из притока крупного золота сопровождается его накоплением непосредственно в узле слияния (или в его устье), где рекомендуется заложение разведочной линии.

При впадении притока с небольшими уклонами на участке основной долины с малыми уклонами в коренном днище притока образуется приустьевая западина, в которой происходит накопление металла. В этом случае возможен разрыв между россыпью притока и россыпью основной долины. При этом можно рекомендовать детальную разведку приустьевой части дна притока.

В случае впадения крутопадающего притока на участке основной реки с малыми уклонами происходит аккумуляция наносов и формирование концентрации идет по типу конуса выноса. В результате в прибортовой части дна со стороны впадения притока формируется обогащенное изометричное гнездо. Для его оконтуривания следует применять разведку по квадратной сети. Эти примеры представляют собой наиболее простые случаи. Более детальный прогноз положения обогащенного участка россыпи в узлах слияния возможен в результате анализа факторов, которые были проанализированы в главе 7.

В процессе развития крупных долин возможно смещение устья притока вверх и вниз по течению относительно реки в основной долине. Особенно это характерно на участках свободно меандрирующего русла и русла, разветвленного на рукава. В связи с этим россыпь может располагаться в борту долины современного притока. Заложение разведочных линий на та-

ких участках требует особо тщательного геоморфологического и руслового анализа с точки зрения рационального заложения разведочных линий и выбора способа разведки.

Выявление в россыпи основной долины концентраций устьев притоков имеет большое значение, особенно при поисках в районах, перекрытых мощной толщей рыхлых отложений, так как позволяет уточнять их местоположение в бассейне и прогнозировать их металлоносность. Небольшие притоки погребенной речной сети практически не выражены в современном рельефе. Разведка россыпей в таких районах проводится, в первую очередь, в крупных долинах, положение которых наряду с топографическими признаками определяются геофизическими методами. Поиск россыпей обычно проводится буровыми линиями большой протяженности, охватывающими борта долины. Это требует больших затрат сил и средств и часто оказывается неэффективным, так как при поисковой разведке бурение скважин проводится по разреженной сети. При этом может быть пропущена россыпь притока, ширина которой, как правило, не превышает 10-20 м. Генетический анализ россыпи основной долины позволяет выделить по комплексу признаков участки впадения палеопритоков. К ним относится резкое изменение гранулометрического состава и, в некоторых случаях, изменение пробыности золота, увеличение продуктивности россыпи основной долины. При этом тщательно анализируется морфологическое строение дна погребенных долин. При анализе данных геологоразведочных работ притоки выделяются по ряду геоморфологических признаков: расширению дна выше предполагаемого участка впадения притока, наличию тальвегов или нескольких тальвегов (в случае впадения крупных притоков), выраженных на разрезах в виде резкого понижения поверхности коренного ложа. В узлах слияния наблюдается резкое расширение дна долины за счет размыва эрозионных уровней, снижение уклонов основной долины. Примером успешного поиска притоков в районах погребенной гидросети с использованием метода генетического анализа является исследование, проведенное в Куларском районе. Поиск притоков погребенной гидросети проводился здесь заложением разведочных линий вдоль бортов основных долин с интервалом скважин в 40-80 м. При такой густоте скважин притоки с небольшой шириной дна оказались невыявленными. Установленные на основе генетического метода концентрации выносов из притоков позволили конкретизировать положение устьев погребенных притоков. На этих участках было рекомендовано пробурить разведочные линии, которые вскрыли россыпи палеопритоков.

*Прогноз коренных источников и их локализации в бассейне.* Не менее важна роль генетического метода при прогнозе положения коренных источников, расположенных в бассейнах россыпесодержащих долин. По строению россыпи в ее структуре выявляются участки поступления золота, на которых можно реконструировать пути его поступления в долину. Если по ряду соседних россыпей эти пути сходятся в одном секторе или на отрез-

ке водораздела, то на этом участке можно предположить наличие рудопроявлений. Такой анализ особенно важен при прогнозе коренных источников россыпей в районах погребенной гидросети. В этом случае его результаты являются единственным методом получения информации для локализации коренных источников. Однако и в районах, в которых россыпи сформированы в современных реках, генетический анализ может давать дополнительную к геологической съемке информацию о коренных источниках. Приведем несколько примеров, демонстрирующих возможности генетического метода при решении этих задач.

В Алданском районе на одном из участков поисковыми работами на водоразделе двух соседних долин было зафиксировано наличие кварцевых жил (рис. 60А). Участки привноса установлены в результате генетического анализа по правому борту долины А и по левому борту долины Б. Дешифрирование аэрофотоснимков и анализ литолого-металлогенических условий позволили выделить потенциально металлоносную тектоническую зону разрывных нарушений и повышенной трещиноватости коренных пород, секущую обе россыпи долины перпендикулярно их простиранию.

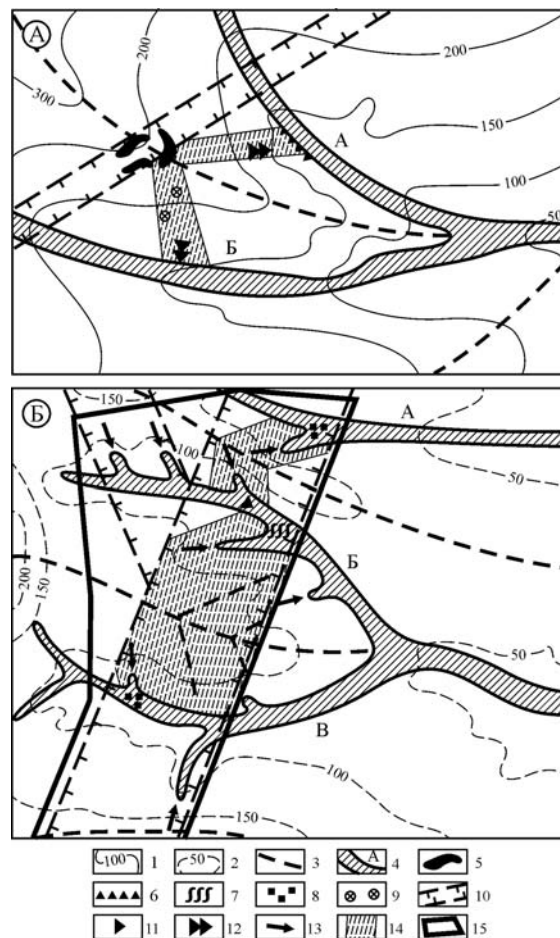
В результате генетического анализа по обеим россыпям выделены зоны склонового привноса. Составленная на основе топографических крупномасштабных карт схема линий тока исследуемого участка позволило оконтурить секторы склонового привноса, в пределах которых золото могло смещаться из коренного источника в каждую из россыпей. Совмещение верхних границ этих секторов на участке водораздела, где его пересекает выявленная потенциальная металлоносная зона, приуроченность к ней кварцевых жил явились основанием для прогноза местоположения коренного источника, питавшего россыпи, который должен быть локализован на участке схождения верхних границ секторов.

Второй пример касается прогноза коренных источников в Куларском районе на участке рудно-россыпного узла, перекрытого рыхлой толщей отложений мощностью до 70 м. На рис. 60Б представлен фрагмент прогнозной карты (масштаб 1:50000), включающий три россыпесодержащие долины этого узла.

Россыпи основных долин (А, Б, В) разведаны. При проведении по геологоразведочным материалам генетического анализа удалось выделить устья металлоносных притоков, поставляющих в основную долину металл из коренных источников, расположенных в их бассейнах. Анализ результатов бурения позволил выявить в днище долины Б плотиковый привнос, подтверждающий наличие коренных источников в ее бассейне. Анализ карты погребенного рельефа и результаты дешифрирования современного рельефа дали возможность с большой точностью выделить в пределах рудно-россыпного узла перспективные зоны.

Если границы выявленных в результате проведенных исследований рудоконтролирующих зон оконтуривают всю площадь, перспективную на коренное оруденение, секторы привноса металла позволяют конкретизиро-

вать местоположение коренных источников и дать рекомендации на постановку поисковых работ.



**Рис. 60.** Примеры прогноза коренных источников по результатам генетического анализа мелкозалегающих (А) и погребенных (Б) россыпей: элементы рельефа: 1 – изогипсы дневной поверхности; 2 – изогипсы погребенного рельефа коренных пород; 3 – водораздел; 4 – контуры погребенных долин; признаки коренной золотоносности: 5 – кварцевые жилы; 6 – рудные обломки и свалы с содержаниями золота; 7 – кварцевые прожилки в плотике россыпи; 8 – пиритизированные породы в плотике россыпи; 9 – литохимические пробы с содержаниями золота; 10 – зоны тектонических нарушений и повышенной трещиноватости коренных пород; элементы прогноза: 11 – плотиковый привнос; 12 – склоновый привнос; 13 – золотоносные притоки; 14 – секторы вероятного привноса золота в россыпь; 15 – участки, рекомендуемые на поиск коренных источников.

Рассмотренные возможности и конкретные примеры применения генетического метода анализа россыпей в районах исследований отражают наиболее типичные ситуации. Возможно, они не являются исчерпывающими и в каждом новом районе, наряду с описанными выше типичными случаями, могут встретиться иные схемы. Каждая из них потребует конкретного решения, эффективность которого значительно повысится при использовании генетического метода. Основные принципы его применения помогут значительно повысить достоверность поисковых и разведочных работ, избежать потери золота в недрах и уменьшить объемы работ за счет исключения нерентабельных участков россыпей.



## ГЛАВА 11

### ВЛИЯНИЕ ОТРАБОТОК АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ НА РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНЫХ И ПОЛУГОРНЫХ РЕК

Генетический метод анализа россыпей, помимо улучшения эффективности геолого-разведочных работ на россыпных месторождениях золота, имеет и определенный экологический аспект. Его применение позволяет более точно определить контуры россыпей, значительно сократить площади, отводимые для отработки аллювиальных месторождений и уменьшить антропогенную нагрузку в бассейнах горных и полугорных рек при разведке и добычи россыпного золота.

С развитием дражного способа, начало которого относится к тридцатым годам XX столетия, антропогенные преобразования долинных экосистем в россыпных районах происходили с такой интенсивностью, что к настоящему времени возникли совершенно новые ландшафты, в которых нарушены все естественные компоненты, включая гидрологический режим рек, баланс их наносов, геоморфологическое строение долин и биоценозы. В течение длительного периода разработка россыпных месторождений проводилась без прогнозной оценки последствий вмешательства человека в естественные природные процессы. Только в последние десятилетия в связи с необходимостью промышленного и сельскохозяйственного освоения территорий россыпных районов, требующего рекультивации речных долин как наиболее плодородных экосистем горных районов, этот вопрос стал актуальным [Зубченко, Сулин, 1980]. При этом основное внимание обращается, с одной стороны, на рекультивацию пойменных массивов как площадей, пригодных для пастбищ и сельскохозяйственных работ, а с другой – на загрязнение рек и водоемов и способы снижения его уровня. Применительно к отдельным районам с различными природными условиями создаются руководства и инструкции, организуются экологические службы, осуществляющие мониторинг состояния речных долин. Однако при этом уделяется мало внимания основному фактору, формирующему пойменно-русловые ландшафты – руслам рек. Только в последнее время появился ряд работ, посвященных вопросу воздействия разработок россыпей на русло и русловой режим рек. [Хмелева и др., 1995; Виноградова, 2003; Чалов, 2005; Махинов, Махинова, 2006]. Изучение этого вопроса является актуальным в связи с тем, что нарушение русловых процессов в горных и полугорных реках влияет не только на сами эти реки, но и отражается в более высоких звеньях гидросети.

Чтобы представить себе сущность процессов, происходящих при отработках россыпей, остановимся на основных способах их эксплуатации, каждый из которых приводит к определенным изменениям русел рек. Существует два основных способа отработки аллювиальных месторождений золота – подземный (шахтами) и открытый (драгами, карьерами, гидромо-

ниторами). Первый оказывает меньшее влияние на русловые процессы рек, тогда как при открытом способе (особенно при применении дражных работ) реки подвергаются наиболее жесткому антропогенному прессингу.

Подземный способ применяется при отработке глубоко залегающих погребенных россыпей. При этом само русло изменениям не подвергается. Река служит источником водозабора, а отходы промывочных установок сбрасываются в виде отвалов на пойму. В результате возникает техногенный рельеф в виде отвалов разной высоты, состоящих из отложений разной крупности. Весной полые воды размывают и отвалы, и отстойники. Мутность воды значительно возрастает. Увеличение мутности происходит не только в обрабатываемых реках, но и в реках-приемниках. По данным Е.К. Кирилловской и Ю.Т. Гончарова [1989] из бассейна р. Бургуат (Куларский район), в котором проводятся подземные отработки россыпей, в Яну выносятся до 100 тонн взвешенных частиц в год. Значительное увеличение мутности потоков вследствие отработок россыпей в том же бассейне отмечено Н.И. Алексеевским и А.Ю. Сидорчуком [1992]. Возникший техногенный рельеф на пойме и значительное увеличение мутности воды отрицательно влияет на местную ихтиофауну, особенно на состояние нерестилищ рыб.

Гидравлический способ отработки употребляется при эксплуатации небольших обогащенных участков россыпей на склонах и террасах долин. Воздействие на русло при этом сказывается в заборе воды для промывки гидромониторами и спуска пульпы, что также увеличивает мутность вод в реке. На пойме остаются отвалы пустой породы, образующие типичные техногенные ландшафты.

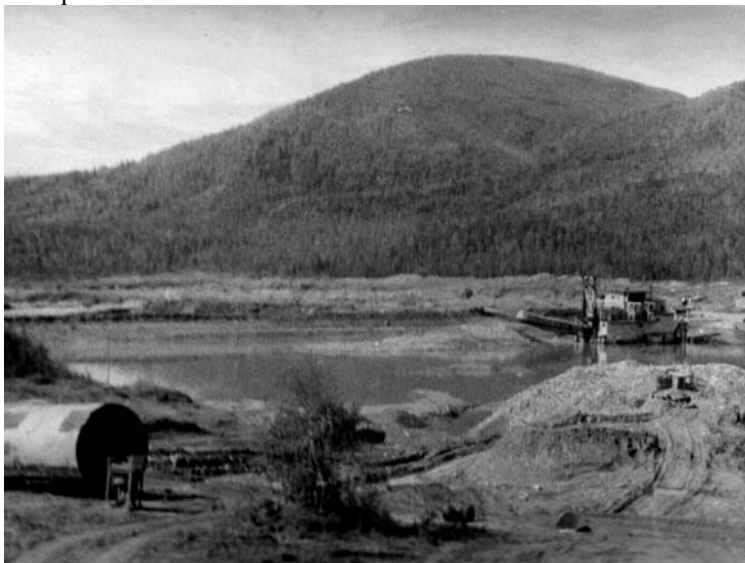
Наиболее жесткое воздействие на русловые системы оказывает широко применяемый способ отработки россыпей драгами. Изменения, которые происходят при его использовании можно отнести к критическим, так как они необратимы как для поймы, так и для русла. Для запуска драги на участке отработки естественное русло отводится в виде канала, по которому пускается поток воды. В начале и конце обрабатываемого участка возводятся дамбы. Для того, чтобы подойти к обогащенному аллювиальному горизонту экскаваторы снимают почвенные горизонты и пустую породу и, хотя по инструкциям после эксплуатации месторождения почвенные горизонты должны возвращаться на место, это делается в редких случаях. Реально это практически невыполнимо, так как драги проходят одни и те же участки по несколько раз, обрабатывая техногенные россыпи. Таким образом, если драга запущена – она остается в реке десятилетиями, преобразуя пойменно-русловые комплексы в техногенные ландшафты (рис. 61).

Проведенные исследования в старопромышленных россыпных районах, где освоение россыпей драгами началось в двадцатые годы прошлого столетия (Ленский и Алданский районы), позволили оценить степень изменения русел и руслового режима речных долин разных порядков наиболее распространенным способом отработки драгами. Приступая к решению этой задачи, важно было, прежде всего, четко представить, реки каких по-

рядков содержат россыпи и чаще всего подвергаются их отработке. Такой подход позволяет судить о соотношении внутри бассейна отдельных пораженных антропогенным воздействием звеньев гидросети и роли каждого из них в развитии русловых процессов.

В долинах низких порядков отработка россыпей редко проводится с использованием драг. Здесь имеет место локальные участки поражения, как правило, в приустьевых зонах в результате старательских работ. В полугорных реках, на которые приходится наибольший объем извлечения золота драгами, преобразование долинных экосистем максимально. В отдельных случаях при благоприятной металлогенической обстановке в крупных полугорных долинах формируются россыпи-гиганты, протягивающиеся на расстояние нескольких десятков и более километров. В исследованных районах к ним относятся россыпи рек Бодайбо, Вачи, Хоморхо. Русло и пойма представляют единый комплекс, который развивается под влиянием стока. В связи с этим, изменение русла под влиянием отработок нельзя изолированно рассматривать от процессов, происходящих на пойме. Те и другие в совокупности определяют особенности проявления эрозионно-аккумулятивных процессов в долине. При неоднократной отработке россыпи в днище долин рельеф, созданный потоком почти целиком заменяется на техногенный (рис. 61). Особенности морфологии последнего порождают специфические условия деятельности потока и изменения русла. Суть технологического процесса отработки россыпей драгами заключается в извлечении вместе с золотом аллювия по всей россыпи или на ее отдельных участках, на которых содержание металла соответствует требуемым кондициям. Выделение золота из рыхлых отложений достигается путем их промывки с помощью драги и других промывочных установок. Их работа обеспечивается строительством гидротехнических сооружений и большим объемом канавных горноподготовительных работ, проводимых на относительно большой площади в сфере деятельности русловых потоков и поймы. С точки зрения воздействия на пойму их можно разделить на два типа нарушений поверхности в виде техногенных форм: а) отрицательных (канавы, руслоотводные каналы, отстойники и т.д.); б) положительных, включающие разные по величине дамбы и плотины (грунтоудерживающие, струенаправляющие и т.п.). Назначение дамб и плотин – обеспечение функционирования гидромеханической отработки россыпей. Их роль сводится к перераспределению основного потока по поверхности поймы на участке отработки полигона. Различная ориентировка по отношению к направлению естественного основного потока и создаваемого с целью отработки россыпи искусственного русла служит дополнительной причиной увеличения шероховатости поверхности поймы. Степень их влияния на поток определяется соотношением высоты дамб и уровня паводков, когда во время последних изменяется структура потока. Поскольку эти сооружения обычно не ликвидируются после отработки россыпей, их воздействие на поток продолжается и в последующее время. Оно проявляется в трех направлениях: 1) изменении и трансформации русла и

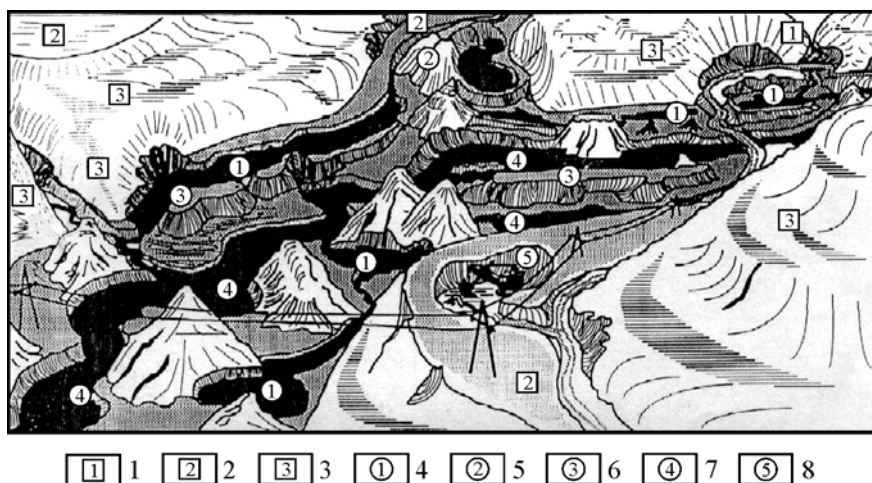
других современных аллювиальных форм, созданных в ходе естественного процесса руслообразования; 2) изменении расходов воды (потоки частично или целиком используются в процессе отмывки металла из аллювия или отводятся с целью осушения обрабатываемых участков); 3) нарушении естественного режима стока наносов.



**Рис. 61.** Изменение рельефа долины р. Бодайбо в результате дражных отработок (Ленский район).

**Изменение морфодинамического типа русла при отработке россыпей.** Русла рек при отработке россыпей являются наиболее уязвимыми элементами долин, поскольку к ним чаще всего приурочены наиболее богатые концентрации золота. Параметры участков отработок россыпей в значительной мере определяется особенностями распределения в них металла. Так, на относительно прямолинейных неразветвленных участках русла россыпи обычно имеют форму узких струй с довольно выдержанными по длине концентрациями золота; узкие карьеры закладываются по руслу часто по всей длине россыпи. Русла на отдельных участках или по всей длине приобретают форму канала, возрастает ступенчатость продольного профиля за счет чередования нарушенных и нетронутых разработкой участков. В долинах средних порядков с широкопойменным дном горизонтальные деформации русел в течение длительных геологических периодов времени обуславливают относительно равномерное распределение золота по всей ширине поймы и, если содержание золота соответствует требуемым кондициям, золотосодержащий аллювий отработывается по всему участку. На реках с разветвленным руслом карьеры закладываются по россыпям, приуроченным к отдельным рукавам,

что приводит к перераспределению расходов воды. При этом поток из главного русла с приуроченной к нему более бедной россыпью может перейти в переуглубленное разработкой русло второстепенного рукава.



**Рис. 62.** Техногенный рельеф в долине V порядка во время паводка, сформированный после отработки россыпи (Ленский район): формы рельефа: 1 – устья притоков и их номер; 2 – высокие террасы ( $H > 50$  м); 3 – склоны долины; техногенные формы рельефа: 4 – озера на месте водозабора отстойников и т.д.; 5 – отвалы; 6 – останцы дамб; 7 – техногенное русло реки; 8 – карьер отработки террасовой россыпи.

После прекращения работ водоотводные каналы нередко преобразуются в техногенные русла. При этом происходит изменение морфодинамического типа русла. На рис. 62 показан участок отработанной россыпи в долине V порядка Ленского района. Правый борт долины дренируется тремя притоками, из которых средний (2) принадлежит к IV порядку. Верхний (1) и нижний по течению (3) – ко второму порядку. Характерной особенностью участка является холмисто-западинный рельеф. На первый взгляд, он напоминает водно-ледниковый. Однако при более тщательном анализе бросается в глаза характерная однотипность форм, их закономерное чередование, связанное с техногенным генезисом рельефа. На таких участках преобладает группа форм, обусловленная отработкой рыхлой золотоносной толщи. Среди них большую площадь составляют водоемы проточные или замкнутые – реликты отрицательных техногенных форм (карьеров, водозаборов, отстойников и т.п.) – следы неоднократной отработки россыпи в течение более чем 50-летнего освоения. Эти формы чередуются с положительными того же генезиса в виде отвалов. Водоемы, расположенные в прирусловой части дна долины, нередко связаны протоками, образованными руслоотводными каналами и канавами, с основным потоком. Эта связь чаще

осуществляется в паводок, в межень прекращается. В присклоновой части днища водоемы нередко служат аккумуляторами стока притоков. Как видно на рис. 62, сток двух притоков второго порядка целиком поглощается искусственными водоемами в то время, как сток третьего притока частично достигает основного потока. В отличие от естественного меандрирующего, русло, образовавшееся в процессе эксплуатации месторождения, характеризуется тенденцией к переходу к прямолинейному или слабоизвилистому. Оно имеет сложную конфигурацию, приспособляясь к неровностям техногенного рельефа. В связи с этим по длине резко меняется ширина русла – от узкого на участках канализации до озеровидно-расширенного, где оно наследует искусственные водоемы. Особенности конфигурации русла проявляются в наличии большого числа искусственно созданных затонин, к которым приурочены функционирующие по бывшей пойме протоки.

Казалось бы, вследствие того, что в результате отработок россыпи, поток оказывается насыщенным большим количеством наносов, русло должно характеризоваться большой подвижностью. Значительное количество наносов, поступающих в русла в результате отработок россыпи, обуславливает наличие в них большого числа островов, побочней. В тоже время, судя по картам и планам отработок разных лет, скорости горизонтальных деформаций русла невелики. Последнее связано частично как с его канализацией, с другой – «старостью» отвалов и дамб, часто уже освоенных растительностью. Одной из причин относительной стабильности русла является мерзлота. Она играет роль цемента, скрывая уплотнившийся с годами рыхлый материал горных отработок. Значительная твердость грунтов препятствует горизонтальным деформациям русла.



**Рис. 63.** Изменение морфодинамического типа русла реки на участке дражного полигона (Ленский район): 1 – естественное русло реки; 2 – техногенное русло; 3 – сток отработанной воды в русло; 4 – водозадерживающие дамбы; 5 – водонаправляющие дамбы; 6 – водозабор; 7 – водонасосы; 8 – промприбор; 9 – техногенные отвалы.

Пример преобразования меандрирующего русла на участке дражно-го полигона показан на рис. 63. Морфодинамический тип и положение естественного русла установлено по картам, съемка которых проводилась до отработки россыпи. В процессе отработки русло в канале приобрело техногенный облик и стало относительно прямолинейным.

В устьевой зоне одного из притоков р. Вачи драга прошла вдоль левого и правого борта днища, образовав два прямолинейных рукава, отгороженных от основного днища высокими отвалами. После отработки россыпей и прорыва дамбы относительно прямолинейное неразветвленное русло притока освоило эти рукава, образовав техногенные русла. Пример преобразования морфодинамического типа русла на участке пойменно-русловой многорукавности в меандрирующее приведен С.Р. Чаловым [2005] для отработываемого участка одной из рек Камчатки.

Изменение морфологии русла на участках отработок сказывается в характере продольного профиля реки, отражающего ступенчатость днища. Это также объясняется искусственным рельефом, созданным в процессе отработки россыпей. При этом часто возникает своеобразная «четковидность» – пересекая дамбу, русло собирается в узкий поток, а при выходе на пойму расплывается по ней несколькими рукавами, которые в межень образуют «техногенные» старицы. Интенсивное врезание искусственного русла, связано с его спрямлением и выработкой нового продольного профиля с образованием резкого перегиба днища.

**Влияние отработок россыпей на расходы воды.** Техногенные водоемы на «бывших» поймах способствуют изъятию части расхода воды из основного водотока, которая заполняет в паводки эти емкости. Частично они заполняются также за счет грунтовых вод. Для определения изменения расходов воды в реках, подвергшихся отработке, были проведены специальные расчеты. Вначале выявлено соотношение площадей, занятых руслом в долинах IV-VI порядка Ленского района: 1) не захваченных эксплуатационными работами и 2) подвергшихся отработкам. Установлено, что площадь, занятая руслом, в первом случае составляет от 3 до 10% от площади днища. Площадь водной поверхности искусственно созданных водоемов увеличивается в 3-10 раз по сравнению с руслом, занимая в некоторых случаях до 40-50% от площади днища. Такое значительное увеличение площади водной поверхности приводит к потере воды и снижению расходов. Уменьшение расходов обусловлено тем, что искусственные водоемы служат аккумуляторами стока воды из притоков. Часть воды теряется за счет испарения. Для более точной оценки потери воды на примере р. Ныгри, в долине которой в течение длительного периода драгами отработывалась богатейшая россыпь, проведен анализ изменения среднегодового паводочного расхода воды. К настоящему времени русло этой реки на всем протяжении техногенное. Площадь техногенных озер-водозаборов составляет 40-50%. Расходы воды, измеренные на г/п Кропоткин, расположенном в 9 км от устья р. Ныгри, при обеспеченности 100% равны 5-6 м<sup>3</sup>/с. Паводочный рас-

ход этой реки для случая, если бы она не подвергалась техногенному воздействию, рассчитан по формуле [Указания... 1972]:

$$Q_p = q_{200} \left( \frac{200}{F} \right)^n \lambda_p \delta_2 F \quad (13)$$

где  $q_{200}=0,8$  – модуль максимального расхода воды ежегодного превышения, приведенный к площади водосбора;  $n=0,35$  – показатель степени редукиции модуля максимального расхода;  $\lambda_p = 0,22$  – переходный коэффициент от вероятного превышения  $p$  к вероятности 100%;  $\delta_2$  – коэффициент, учитывающий снижение максимального расхода вследствие залесенности и заболоченности, рассчитываемый по формуле:

$$\delta_2 = 1 - 0,8 \lg(1 + 0,05 f_l + 0,1 f_b) \quad (14),$$

где  $f_l$  – % площади лесов;  $f_b$  – % площади болот; по топокартам м-ба 1:25 000 принят равным  $f_l = 0,35$ ,  $f_b = 0,65$ .

Ежегодный паводочный расход по створу в результате проведенных расчетов оказался равным  $20 \text{ м}^3/\text{с}$ , что в 2-3 раза превышает значения расхода, полученного по результатам гидрометрических измерений на участке ниже отработки россыпи. Таким образом, потеря воды в результате отработок составила 30%.

Уменьшение расходов за счет техногенных разработок, подтверждается результатами замеров расходов воды, определенных выше и ниже водозабора в верхнем течении р. Угахан (II порядок). Расходы воды в 1,4 км выше водозабора ( $3,49 \text{ м}^3/\text{с}$ ) оказались почти в два раза больше по сравнению с участком, расположенном ниже по течению от места отработок. Потеря воды в связи с техногенными отработками составила 46%. Такая же тенденция подтверждается данными С.Р. Чалова (2005), полученными для рек Камчатки, в которых суммарная потеря воды в технологическом цикле достигла 60-70%.

**Изменение крупности наносов при отработке россыпей.** Уменьшение расхода воды, учитывая значительный период отработок россыпей, должно было сказаться на крупности наносов. С целью выявления влияния отработок россыпных месторождений драгами на крупность наносов проведены следующие расчеты. Имея средний фактический ежегодный паводочный расход воды р. Ныгри в створе г/п Кропоткин равный  $809 \text{ м}^3/\text{с}$  (обеспеченность 25-50%) была рассчитана средняя крупность аллювия, который формировался в период техногенной отработки россыпей. С этой целью использовалась формула А.Н. Крошкина [Талмаза, Крошкин, 1968]

$$d_{cp} = \left( \frac{Q_\phi}{\sqrt{g}} \right)^{0,4} I^{0,9} \quad (15),$$

где  $Q_\phi$  – руслоформирующий расход  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $I$  – уклон, %.



В этой формуле величина среднего измеренного расхода воды принята за руслоформирующий. Рассчитанная средняя крупность наносов для этого периода оказалась равной 25 см. В действительности, по замерам ее в шурфах, вскрывающих современный аллювий, она равна 46 см, т.е. почти в два раза больше. Иными словами, в связи с уменьшением расходов воды в результате техногенных отработок происходит укрупнение состава аллювия, причиной которого является поступление в потоки более крупных обломков из нижних продуктивных горизонтов базального аллювия. Кроме того, на изменение состава аллювия большое влияние оказывает вымывание при дражной отработке мелких фракций. Поступающие с промывочных установок «хвосты» пульпы характеризуются большой мутностью, превышающей на несколько порядков содержание мелких фракций в реках с бытовым режимом. По данным Г.В. Зубченко и Г.А. Сулина [1980] концентрация взвешенных наносов в промышленных сточных водах колеблется от 5 до 50 мг/л. Мутность же рек, не затронутых горными работами, составляет в межень 0,5-1,0 мг/л. Значительное увеличение мутности воды (до 2000 мг/дм<sup>3</sup>) во время формирования ливневого паводка отмечает А.Н. Махинов и А.Ф. Махинова [2006] для рек Хабаровского края. Н.И. Алексеевский и А.Ю. Сидорчук приводят следующие данные о мутности, полученные в результате измерений в бассейне р. Бургуат Куларского района – ниже эксплуатируемого месторождения в ручье Михаил-Юреге мутность воды составляла 150 г/м<sup>3</sup> при фоновой мутности вод 5-6 г/м<sup>3</sup>. Мобилизации мелкой фракции, поступившей в русла рек, способствуют снятие покрова и ликвидация растительности на значительной территории дражных отработок. При прорыве дамб мутность воды увеличивалась до 1200 г/м<sup>3</sup>. Главными источниками техногенных наносов являются заброшенные месторождения с нерекультивированными ландшафтами. В пределах заброшенных отвалов мутность воды в межень увеличивается до 1900 г/м<sup>3</sup>.

Мелкая фракция во взвешенном состоянии переносится на значительные расстояния. При сравнении данных гранулометрического состава аллювия выяснилось, что на участках, подвергшихся отработкам, содержание мелких фракций составляет 20%. Для участков тех же рек в естественном состоянии доля песчано-глинистого заполнителя возрастает до 30-40%. «Промывистость» аллювия, несмотря на огромное количество мелкозема, поступающего при вскрышных работах и дражировании, свидетельствует об интенсивном выносе мелкой фракции из долин, подвергшихся отработке россыпей, в нижерасположенные участки рек.

Проведенные исследования позволяют сказать, что открытые отработки россыпей существенно влияют на русловые процессы на реках III-VII порядков. Это воздействие достигает предельного проявления в долинах с богатыми россыпями в старопромышленных районах в случае неоднократной техногенной переработки россыпей самих долин и их притоков. Отработка россыпей сказывается в изменении морфологии русла, снижении расходов воды, изменении крупности наносов в обрабатываемых долинах и в значительном увеличении мутности потоков, как в обрабатываемых реках, так и в более высоких звеньях гидросети.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог результатам проведенных исследований, прежде всего можно отметить, что они являются особым направлением в науке о россыпях. Большинство исследователей, занимающихся россыпями, изучали геологические факторы их образования и закономерности их геоморфологической позиции в рельефе. Исследования внутренней структуры россыпей, закономерностей распределения золота в пределах контура россыпи до настоящего времени имели несистематический характер и затрагивали лишь отдельные стороны этой проблемы. Вместе с тем, еще Ю.А. Билибин [1956, с. 459] отмечал, что «наиболее острый вопрос геологии россыпей – это вопрос их морфологии и распределения в них металла».

До настоящего времени исследования закономерностей строения россыпей имели констатирующий характер. Выдвинутая Н.И. Маккавеевым идея изучения россыпей как результата русловых процессов обуславливающих транспорт и аккумуляцию частиц золота, позволила создать научную концепцию формирования россыпей, согласно которой русловые процессы определяют структуру россыпи, генезис и разнообразие формирующихся в ее пределах участков. Именно русловым процессам принадлежит определяющая роль в формировании структуры аллювиальных россыпей золота. Независимо от конкретных условий в различных районах россыпи формируются водными потоками, физическая суть которых проявляется в общих законах транспорта и аккумуляции наносов, которые отражаются в параметрах и структуре россыпей.

Разработанный на основе выявленных закономерностей формирования россыпей метод генетического анализа их строения позволяет повысить эффективность геологоразведочных и эксплуатационных работ. Методика генетического анализа могла бы стать существенным дополнением к принятой в настоящее время методикам поиска и разведки аллювиальных россыпей золота. Следует отметить, что геологи разведочных партий, с которыми обсуждался метод генетического анализа и конкретные рекомендации по разведке россыпей, очень хорошо принимали их, так как осознавали важность учета генезиса неоднородных участков при экстраполяции результатов бурения. Метод генетического анализа строения россыпей можно использовать в любом россыпном районе, так как независимо от конкретных геолого-геоморфологических и климатических обстановок, формирование структуры россыпи определяется русловыми процессами.

Помимо научных и практических результатов, касающихся россыпей, результаты проведенных исследований позволили выявить некоторые существенные особенности характера проявления русловых процессов в небольших горных реках, являющихся наименее изученным звеном гидро-сети. Сопоставление морфометрических показателей водотоков в различных регионах еще раз показали универсальность классификации типов русловых процессов и русел горных и полугорных долин, разработанную

Р.С. Чаловым. Установлена определяющая роль литолого-тектонического фактора в формировании того или иного морфодинамического типа русел для горных рек низких-средних порядков. Результаты исследований позволили выделить особый тип скульптурно-эрозионного рельефа русел, оценить роль русловых потоков в его формировании и провести классификацию русловых форм, образующихся при взаимодействии врезающегося потока с коренным ложем долины. Оказалось, что также как когда-то существовавшие растения и животные оставляют свой след на поверхности осадочных пород, положение русловых потоков, функционирующие миллионы лет назад, запечатлевается в рельефе коренного ложа долин. Реконструированные по фрагментам эрозионных борозд палеоруслу («глубокие тальвеги») позволили проследить характер эволюции палеорусел и их роль в формировании морфологии современных долин и внести определенный вклад в развитие палеорусловедения, выделенного Р.С. Чаловым [1996] в отдельное направление науки о русловых процессах. Исследования эволюции палеорусел в течение нескольких этапов их формирования показали высокую степень унаследованности морфодинамических типов русел на протяжении всей истории формирования долин.

Хочется надеяться, что результаты многолетних исследований рек горных долин и сформированных в них россыпей будут интересны как геоморфологам, так и геологам – россыпникам в научных и практических целях.

## ЛИТЕРАТУРА

**Алексеевский Н.И., Сидорчук А.Ю.** Ускорение эрозии в нарушенных горными работами ландшафтах (на примере бассейнов рек Омолоя и Яны) // Экологические проблемы эрозии почв и русловых процессов. М.: Изд-во МГУ. 1992.

**Беркович К.М., Зайцев А.А.** Русловые процессы в узле слияния Би и Катунь // Метеорология и гидрология. 1976. №6.

**Билибин Ю.А.** Основы геологии россыпей. М-Л: ГОНТИ. 1938.

**Билибин Ю.А.** Основы геологии россыпей. М.: Изд-во АН СССР. 1956.

**Бондаренко Н.Г.** Некоторые вопросы геологии россыпей. Магадан: ОТИСНХ. 1957.

**Бондаренко Н.Г.** Образование, строение и разведка россыпей. М.: Недра. 1975.

**Великанов М.А.** Динамика русловых потоков. Л. Гидрометеоздат. 1949.

**Виноградова О.В., Маорс Л.В.** Морфодинамические типы и эволюция русел рек Патомского нагорья // Геоморфология. 1998. №4.

**Виноградова О.В.** Палеорусловой аспект формирования горных и полугорных долин Патомского нагорья // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 13. М.: Изд-во МГУ. 2001.

**Виноградова О.В., Виноградова Н.Н., Хмелева Н.В.** К вопросу о деформациях русловых форм горных и полугорных рек // Геоморфология. 1999. №3.

**Виноградова О.В.** Трансформация речных русел при отработке аллювиальных россыпей // Геоморфология. 2003. №1.

**Воробьев В.Н., Колесов С.В.** О переносе россыпного золота водными потоками // Литология и полезные ископаемые. 1975. №3.

**Воскресенский С.С.** Геоморфология россыпей. М.: изд-во МГУ. 1985.

**Генкин П.О.** Особенности строения и формирования россыпей золота в долинах разных порядков на Северо-Востоке СССР // Колыма. 1972. №2.

Геология россыпей золота Северо-Востока СССР. Магадан: Магаданское книжное издательство. 1979.

**Гольдфарб Ю.И., Генкин П.О.** К подразделению аллювиальных россыпей по условиям образования // Проблемы геологии россыпей. Магадан: ОНТИ СВКИ. 1970.

**Горбунов Е.З.** К вопросу о дальности переноса россыпного золота от коренных источников // Советская геология. 1959. №6.

**Григорьев Н.П., Хмелева Н.В.** Транспорт и дифференциация некоторых россыпных компонентов в пределах гидросети континентов // Ме-

ханическая дифференциация твердого вещества на континенте и шельфе. М.: Наука. 1978.

**Дик И.П.** Распределение золота в аллювиальных россыпях юга Якутии // Транспортировка полезных ископаемых в россыпях. Якутск: Изд-во Якут. фил. СО АН СССР. 1975.

**Дитмар А.В.** О малой подвижности золота при эрозионных процессах на примере рудопоявлений ручья Игривого в Корякском нагорье // Региональная геология. Уч. зап. НИИ геологии. Вып. 13. Л. 1968.

**Желнин С.Г., Шумилов Ю.В.** Условия смыва и перемещения частиц золота (по экспериментальным данным) // Транспортировка полезных ископаемых в россыпях. Якутск: Изд-во Якут. фил. СО АН СССР. 1975.

**Золотарев А.Г.** Рельеф и новейшая структура Байкало-Патомского нагорья. Новосибирск: Наука. 1974

**Зубченко Г.В., Сулин Г.А.** Рациональное использование водно-земельных ресурсов при отработке россыпей. М.: Недра. 1980.

**Ивочкина Л.Г.** О дальности переноса мелкого и весьма мелкого золота // Вестник Моск. Ун-та. Сер.5. География. 1987. №3.

**Избеков.Э.Д.** Образование и эволюция россыпей. Новосибирск: Изд-во Наука. 1985.

**Ишменицкий А.И.** О концентрации тяжелых минералов в аллювии по данным экспериментальных работ // Советская геология. 1959. №1.

**Карташов И.П.** По поводу брошюры Н.Г. Бондаренко «Некоторые вопросы геологии россыпей» // Колыма. 1959. №3.

**Карташов И.П.** Единая генетическая классификация рельефа, рыхлых отложений и россыпей // Труды Сев.-Вост. Вып. 3. Магадан: КНИИ. 1963.

**Кирилловская Е.К., Гончаров Ю.Т.** Технология бессточного водопользования при разработке россыпных месторождений арктических низменностей // Колыма. 1989. №7.

**Красков В.В., Лобанов В.В.** Исследование некоторых морфометрических факторов концентрации гидротермального золота в россыпях Чукотки // Геоморфология. 1973. №4.

**Крашенинников Г.Ф.** Учение о фациях. М.: изд-во «Высшая школа». 1971.

**Ламакин В.В.** О динамической классификации речных отложений // Землеведение. Том. III (XLIII). 1950.

**Ламакин В.В.** Об отклонении течения рек их притоками // Природа. 1951. №6.

**Лазаренко А.А.** Литология аллювия равнинных рек гумидной зоны (на примере Днепра, Десны и Оки.) // Труды Геологического института АН СССР. Вып. 120. М.: Наука. 1964.

**Лунев Б.С.** Дифференциация осадков в современном аллювии // Уч. Зап. Пермский университет. Вып. 174. 1967.

**Львович М.И.** Русловые процессы и золотоносность участка р. Су-тар // Труды Золоторазведка. Вып.8. 1938.

**Ляхницкий В.М.** Рецензия на книгу Н.Г. Бондаренко «Некоторые вопросы геологии россыпей» // Советская геология. 1959. №6.

**Маккавеев Н.И.** Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР 1955.

**Маккавеев Н.И., Калинин А.М.** О перемещении крупнообломочного материала в логах // Метеорология и гидрология. 1968. №8.

**Маккавеев Н.И., Чалов Р.С.** Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ. 1986.

**Маорс Л.В.** Классификация узлов слияния водотоков различных порядков // Геоморфология. 1995. №1. С. 61 – 68.

**Махинов А.Н. Махинова А.Ф.** Преобразование антропогенного рельефа в районах разработок россыпных месторождений // Геоморфология. 2006. №2.

Методика разведки россыпей золота и платиноидов. М.: НТК «Гео-экспорт», 1992.

**Михайлова Н.А.** Перенос твердых частиц турбулентными потоками воды. Л.: Гидрометиздат. 1966.

**Нестеренко Г.В.** О способах концентрации золота в россыпях // Минералогия и геохимия рудных месторождений. М.: Изд-во АН СССР. 1977.

**Никитина Н.А.** Русловые процессы в узлах слияния рек. Автореф. дис. ....канд. геогр. наук. М.: МГУ. 1989.

**Нифонтов Р.В.** Геология россыпей // Труды треста «Золоторазведка» и НИГРИЗолото. М-Л. 1937.

**Осадчий С.С.** Условия россыпеобразования в Восточном Саяне. Новосибирск: Наука. 1984.

**Осовецкий Б.М.** Тяжелая фракция аллювия. Иркутск. Изд-во Иркут. ун-та. 1986.

**Петровская Н.В.** Золотые самородки. М.: Наука, 1993.

**Пиотровский М.В., Синюгина Е.Я.** Геоморфологическое изучение россыпей и задачи его дальнейшего развития // Мат-лы II геоморфологического совещания. М. Отд.геол.-геогр. Наук АН СССР. 1959.

**Прокуронов П.В.** О дальности переноса золота при формировании аллювиальных россыпей в условиях высокогорного глубокорасчлененного рельефа // Изв. АН СССР, сер. Геология Вып. 3. 1975.

**Разумихин Н.В., Тимашкова З.Н.** Экспериментальные данные о закономерностях распределения некоторых тяжелых минералов на различных морфологических элементах русла. // Закономерности размещения полезных ископаемых. Том IV. М.: Госгортехиздат. 1960.

**Ржаницын Н.А.** Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. Л.: Гидрометиздат. 1960.

**Рожков И.С.** О некоторых теоретических вопросах геологии аллювиальных россыпей // Колыма. 1979. №2.

**Рыжов Б.В.** О чертах сходства в строении аллювиальных россыпей горного хрусталя, касситерита и золота. // Труды ЦНИГРИ. Вып. 79. 1968.

**Самусиков В.П.** Самородки золота – где они образуются? // Россыпи и месторождения кор выветривания. Пермь: изд-во Пермского ун-та. 2005.

**Самусиков В.П., Цабул Л.Н.** Химический и гранулометрический состав золота россыпей Аллах-Юньского района. // Россыпи золота и их связи с коренными месторождениями. Якут. кн. изд-во. 1972.

**Синюгина Е.Я.** Особенности россыпей золота долин разных порядков. // Актуальные проблемы теоретической и прикладной геоморфологии. М.: Изд-во АН СССР. 1976.

**Синюгина Е.Я., Пиотровский М.В.** Геоморфологическое изучение россыпей и задачи его дальнейшего развития. Л.: изд-во ЛГУ. 1959.

**Скрябин А.Н.** Дальность переноса золота в россыпях Верхне-Индигирского района // Транспортировка полезных ископаемых в россыпях. Якутск: изд-во Якут. фил. СО АН СССР. 1975.

**Талмаза В.Ф., Крошкин А.Н.** Гидроморфометрические характеристики горных рек. Фрунзе: изд-во Кыргызстан. 1968.

**Тищенко Е.И.** К вопросу о переносе золота русловыми потоками // Вестник научной информации Забайкал. фил. географического об-ва СССР. №6 1966.

**Трушков Ю.Н.** Эволюция и механизм образования россыпей как проекций разрушенных коренных источников на тальвеги долин // Поиски и опыт реконструкции коренных источников золота по разведанным россыпям. Якутск.: Изд-во Якут. фил. СО АН СССР. 1975.

**Трушков Ю.Н., Избеков Э.Д., Сергеенко А.Н.** Основные факторы перемещения золота в россыпях // Сб. Поиски и опыт реконструкции коренных источников золота по разведочным россыпям. Якутск: Изд-во Якут. фил. СО АН СССР. 1975.

Указания по определению расчетных максимальных расходов талых вод при отсутствии или недостаточности наблюдений. Л.: Гидрометеоиздат. 1973.

**Хмелева Н.В., Виноградова О.В., Сысоева С.М.** Об экологических последствиях воздействия разработок аллювиальных россыпей на русловые процессы // Геоморфология. 1995. №3.

**Хмелева Н.В., Григорьев Н.П., Виноградова Н.Н.** Опыт палео-гидрологических реконструкций при изучении россыпей // Формирование россыпей в речных долинах. М.: изд-во МГУ. 1980.

**Хмелева Н.В., Виноградова Н.Н., Самойлова А.А., Шевченко Б.Ф.** Бассейн горной реки и экзогенные процессы в его пределах. М. Изд-во МГУ. 2000.

**Хрипков А.В.** Распределение золота в россыпях Северо-Востока и густота поисковой разведки. Магадан: ОТИСНХ.1958.

**Чалов С.Р.** Руслловые процессы на малых реках Камчатки и их техногенное изменение // Эрозия почв и руслловые процессы. Вып. 15. Изд-во МГУ. 2005.

**Чалов Р.С.** Некоторые особенности русллового режима горных рек // Метеорология и гидрология. 1968. №4.

**Чалов Р.С.** Географические исследования руслловых процессов. М.: изд-во МГУ. 1979.

**Чалов Р.С.** Типы руслловых процессов и принципы морфодинамической классификации речных русел // Геоморфология. 1996. №1.

**Чалов Р.С.** Историческое и палеоруслловедение: предмет, методы исследований и роль в изучении рельефа // Геоморфология. 1996. №4.

**Чалов Р.С.** Горные реки и реки в горах: продольный профиль, морфология и динамика // Геоморфология. 2002. №3.

**Чистяков А.А.** Горный аллювий. М.: Наука. 1978.

**Шанцер Е.В.** Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. М.: Наука. 1965.

**Шило Н.А.** Учение о россыпях. М.: Изд-во Академии горных наук. 2000.

**Шило Н.А., Котылев П.Н.** К вопросу о дальности транспортировки речным потоком золотин при формировании россыпей // Мат-лы по геологии Северо-Востока СССР. Вып. 7. Магадан: ОНТИ. 1949.

**Шило Н.А., Шумилов Ю.В.** Механизм поведения золота в процессе формирования россыпей Северо-Востока СССР // Сб. Минеральные месторождения. М.: Наука, 1976.

**Шило Н.А., Шумилов Ю.В., Патык-Кара Н.Г.** Фации и литогенетические типы россыпей. // Россыпи и месторождения кор выветривания.. Пермь: изд-во Пермского ун-та. 2005.

**Шумилов Ю.В.** Физико-химические и литогенетические факторы россыпеобразования. М.:Наука. 1981.

Экспериментальная геоморфология. Вып. 2. М.: Изд-во МГУ. 1969.

Экспериментальная геоморфология. Вып. 3. М.: Изд-во МГУ. 1978.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	5
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	7
<b>ГЛАВА 1.</b> .....	10
СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ФОРМИРОВАНИИ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ ЗОЛОТА .....	10
<b>ГЛАВА 2</b> .....	14
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ ЗОЛОТА .....	14
2.1. Методика экспериментальных исследований .....	14
2.2. Механизм перемещения россытеобразующих минералов по склонам долин.....	17
2.3. Механизм перемещения россытеобразующих минералов в русле.....	20
2.4. Влияние крупности наносов на транспорт частиц тяжелой фракции.....	25
2.5. Влияние морфологии плотика на формирование аллювиальных россыпей.....	31
2.6. Формирование россыпей в зависимости от направленности вертикальных деформаций.....	35
2.7. Формирование россыпей на участках регрессивной эрозии .....	38
2.8. Особенности формирования россыпей в водотоках с различными типами русел .....	41
2.9. Закономерности перераспределения металла в процессе эволюции россыпей.....	45
2.10. О механизме формирования россыпей из мелкого и тонкого золота.....	51
<b>ГЛАВА 3</b> .....	56
ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РОССЫПЕОБРАЗОВАНИЯ... 56	
<b>ГЛАВА 4</b> .....	62
ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗОЛОТА И ЕГО ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ В ПРОЦЕССЕ ТРАНСПОРТА В РУСЛОВЫХ ПОТОКАХ .....	62
4.1 Гранулометрический состав золота в россыпях .....	62
4.2. Особенности дифференциации частиц золота по длине рек.....	65
4.3. Дифференциация частиц золота в системе гидросети.....	71
4.4. Изменение морфологии частиц золота по длине долин.....	72
<b>ГЛАВА 5</b> .....	74
РОЛЬ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В РАЗМЕЩЕНИИ И МОРФОЛОГИИ РОССЫПЕЙ .....	74
5.1. Типы рек в рудно-россыпных районах, их морфометрические и морфологические ха- рактеристики.....	74
5.2. Условия, определяющие вероятность формирования россыпей и их положение в долине.....	82
5.3 Связь морфодинамических типов русел с морфологией россыпей.....	88
<b>ГЛАВА 6</b> .....	92
ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА КОРЕННОГО ЛОЖА ДОЛИН НА СОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ РОССЫПЕЙ.....	92
6.1. Общие представления о роли рельефа коренного ложа в формировании наносов .....	92
6.2. Классификация форм скульптурно-эрозионного рельефа скального ложа долин.....	93
6.3. Связь скульптурно-эрозионного рельефа с морфодинамическими типами русел.....	97
6.4. Роль литологии коренных пород и тектонических нарушений в формировании скульптурно-эрозионного рельефа .....	99
6.5. Связь скульптурно-эрозионного рельефа с транспортом наносов и частиц золота.. 100	

<b>ГЛАВА 7</b> .....	105
СВЯЗЬ ФОРМИРОВАНИЯ РОССЫПЕЙ С РУСЛОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ В УЗЛАХ СЛИЯНИЯ РЕК.....	105
<b>ГЛАВА 8</b> .....	110
ЭВОЛЮЦИЯ ПАЛЕОРУСЕЛ И ПЕРЕФОРМИРОВАНИЕ РОССЫПЕЙ .....	110
<i>8.1. Преобразование россыпей в процессе эволюции палеорусел главных долин.....</i>	110
<i>8.2. Преобразование россыпей в процессе эволюции узлов слияния.....</i>	119
<b>ГЛАВА 9</b> .....	123
ГЕНЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА РОССЫПЕЙ .....	123
<i>9.1. Общие принципы генетического метода анализа россыпей .....</i>	123
<i>9.2. Методика применения генетического метода .....</i>	129
<b>ГЛАВА 10</b> .....	140
ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА РОССЫПЕЙ И ПОЛОЖЕНИЯ ПИТАЮЩИХ ИХ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	140
<b>ГЛАВА 11</b> .....	154
ВЛИЯНИЕ ОТРАБОТОК АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ НА РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНЫХ И ПОЛУГОРНЫХ РЕК .....	154
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	163
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	165
<b>ОГЛАВЛЕНИЕ</b> .....	170

**Научное издание**  
**Виноградова О.В., Хмелева Н.В.**  
**Русловые процессы и формирование аллювиальных россыпей золота**

Ответственный за выпуск – *С.Н. Ковалев*  
Подготовка оригинал-макета – *С.Н. Ковалев*  
Графические иллюстрации выполнены – *Н.В. Анисимовой*

ЛР №021098 от 28.02.97  
Подписано в печать 31.03. 2009 Формат 60х90/16  
Офсетная печать. Усл. печ. л. – 10,8. Тираж 100 экз.  
Заказ №

Типография ордена "Знак Почета" Издательства МГУ 119899, Москва.  
Воробьевы горы