

УДК 553.068.5

*Н. А. Шило, И. П. Карташов, Н. Г. Патык-Кара, Ю. В. Шумилов***ТЕОРИЯ ПЕРИГЛЯЦИАЛЬНОГО РОССЫПЕОБРАЗОВАНИЯ***(статья 2)*

Настоящая статья продолжает изложение теории перигляциального россыпееобразования, основы которой разработаны авторами на примере россыпей провинций и районов Северной и Северо-Восточной Азии (Тихоокеанская геология, 1991, № 5). Рассмотрены тектоногеоморфологические и литогенетические аспекты россыпееобразования, их место в теории.

**ТЕКТОНОГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕОРИИ  
РОССЫПЕОБРАЗОВАНИЯ**

Исходные металлогенетические особенности питающих провинций и россыпееобразующие свойства коренных источников, принадлежащих к той или иной формации, реализуются при образовании россыпей с момента вскрытия оруденения в ходе сложного взаимодействия факторов, определяющих структурную, геоморфологическую, палеогеографическую и литогенетическую обстановку россыпееобразования. В их числе важнейшую роль играет тектоногеоморфологическая эволюция россыпей [45], т. е. совокупность процессов, отражающих локализацию россыпееобразующего оруденения вблизи поверхности, режим эрозионно-денудационного среза, развитие и строение долин и других форм-коллекторов, определяющих морфогенетические типы россыпей и их продуктивность и, наконец, общие закономерности размещения россыпей в структурах земной поверхности.

Необходимость совершенствования этого раздела теории была определена тем, что составляющие основу теоретической базы предшествующего этапа воззрения Ю. А. Билибина опирались главным образом на схему развития рельефа В. Дэвиса и его учение об «эрозионных или географических циклах... в развитии всего рельефа горной страны — от пенеплена через горную страну опять к пенеплену» [1, с. 148]. Применительно к модели россыпееобразования эта трактовка эрозионных циклов была еще более сужена: «Говоря в дальнейшем об эрозионных циклах, мы будем понимать под ними не географические циклы Дэвиса, а лишь циклы в развитии речных долин» [1, с. 149].

Методические ограничения подобного подхода были очевидны: во-первых, все разнообразие геоморфологических типов россыпей привязывалось к единственной, причем условной, схеме развития рельефа, а, во-вторых, стадийность россыпееобразующего процесса ограничивалась цикличностью развития речной долины, которая должна была зависеть от циклов развития всей горной страны. Такое теоретическое обоснование геоморфологической обусловленности россыпееобразования и стало непреложным принципом при поисках россыпей золота до середины 50-х гг., когда обнаружилось, что оно во многом тормозило поисково-разведочные работы. Возникла необходимость радикального пересмотра исходных геоморфологических представлений, а точнее — задача создания тектоногеоморфологических основ россыпееобразования, актуальность решения которой для Северо-Востока СССР — главной россыпной провинции золота и олова страны — была особенно очевидна. Это потребовало:

выйти за рамки речной долины и увязать процесс россыпеобразования с эволюцией территорий в целом;

исследовать пространственно-генетические связи рельефообразующих процессов с вскрывающимися в ходе денудации рудными источниками и комплексами рыхлых отложений;

исследовать этапность развития рельефа и количественно оценить соотношение эндо- и экзогенных факторов россыпеобразования по этапам развития;

выявить пространственно-временные связи россыпеобразования с рельефом и морфоструктурой на уровне россыпного месторождения, рудо-россыпного узла, района и провинции.

Первые проблема *пространственного соотношения коренного источника и россыпи* со всей остротой встала при анализе таких крупнейших долинных россыпей Яно-Колымского золотоносного пояса, как Омчак, Чай-Юрья, Малый Ат-Юрях и другие. Для большинства из них не были обнаружены адекватные размерам и продуктивности коренные источники, которые, согласно схеме Ю. А. Билибина, должны были находиться на прилегающих междуречьях и склонах долин. Из «отсутствия» коренных источников неизбежно напрашивался вывод о глубоком эрозионном срезе территории, в ходе которого россыпеобразующее оруденение было полностью уничтожено.

Анализ научных материалов показал, что высокая продуктивность протяженных аллювиальных россыпей объясняется приуроченностью заключающих их участков речных долин к крупным рудоконтролирующим структурам, чем определяется возможность непосредственной подпитки россыпи в днище долины, минуя склоновую стадию. Нетрудно понять, что этот факт особо повышает роль «долинного элювия», составляющего характерную черту строения рыхлых отложений перигляциальных областей. Для россыпей Яно-Колымского пояса подтвердилось полузабытое наблюдение Р. Ф. Нифонтова [23]: богатые россыпи золота располагаются там, где долины проходят в д о л ь площади оруденения.

Упрощенный подход при анализе коренных источников довольно долго определял и методику поисков, и оценки оловоносных россыпей, приводил к неоправданному затратам на поиски коренных месторождений олова в районах с установленными богатыми россыпями.

Анализ пространственно-временных отношений в системе коренной источник — россыпь выявил многовариантность существующих связей между их продуктивностью и запасами, которые базируются как на исходных свойствах самих рудных формаций, так и на особенностях эволюции поверхности. В 70-х гг. скрупулезный анализ этой проблемы был выполнен Ю. Н. Трушковым, а впоследствии его учениками [8, 34, 37].

Авторами настоящей работы установлено, что продуктивность россыпей при прочих равных условиях, в том числе при сходстве источника питания, зависит от:

положения коренного источника в определенном ярусе рельефа, в частности, в той или иной части склонов;

взаимной ориентировки долин (береговых линий) и рудных залежей; степени площадного совмещения рудного поля и бассейна питания россыпи (например, выраженной через коэффициент локальности Г. С. Момджи), вертикального совмещения рудоносного интервала и эрозионного среза;

общей направленности развития рельефа (наращивание контрастности — прогрессивное обновление экспозиции, планация — распространение среза коренных источников по площади, аккумуляция — захоронение ранее вскрытых коренных источников);

наличия крупных этапов перестройки структурного плана территории, вызывающих частичное или полное «изъятие» рудоносных формаций из сферы россыпеобразования и(или) повторное вовлечение их и сформированных за их счет промежуточных коллекторов в сферу россыпеобразования;

местных условий обновления экспозиции, особенностей строения и развития форм-коллекторов россыпей.

**Отраженная зональность россыпей.** Динамика пространственно-временных соотношений источника и формы коллектора обуславливает различные случаи упорядоченного распределения минеральных парагенезисов россыпей или явление отраженной зональности россыпей (ОЗР), представление о которой было введено Н. Г. Патык-Кара [24, 27]. В качестве признаков ОЗР россыпей могут выступать ассоциации россыпеобразующих минералов, а также сопутствующих им минералов жильного парагенезиса, типоморфные свойства минералов (соотношения элементов-примесей, габитус, пробность, крупность выделений) и, наконец, продуктивность россыпей различного возраста и геоморфологических уровней.

Наиболее полно ОЗР (как вертикальная, так и латеральная) прослеживается в случае развитой рудной зональности исходного источника питания и зафиксированной в рельефе и металлоносных отложениях этапности формирования россыпи. Она, как правило, весьма отчетлива в оловоносных россыпях, где проявляется через типоморфизм самого касситерита или его соотношения с другими полезными компонентами (например, через  $\text{Sn}/\text{WO}_3$ ), а также в россыпях, образованных за счет телескопированных коренных источников, например, золотовольфрамово-оловянных и т. д.).

Различные случаи ОЗР в россыпях достаточно надежно моделируются с помощью имитационных численных моделей [18], позволяющих проследить пространственно-временные изменения в системе коренной источник — россыпь, влияющие на продуктивность россыпей. ОЗР позволяет восстанавливать относительный уровень среза коренного источника, последовательность вскрытия отдельных его частей и горизонтов, влияние неотектонического фактора, режим врезания и аккумуляции в долине (береговой зоне). Она — важный признак при прогнозировании глубоких пластов россыпей, а также при оценке перспектив самого коренного источника.

**Проблема денудационного среза.** Ю. А. Билибин, впервые обративший внимание на металлогеническую роль эрозионно-денудационного среза, подчеркивал, что значение последнего для прогнозирования эндогенного оруденения велико постольку, поскольку он определяет, какие месторождения выведены на поверхность, какие еще находятся на глубине, а какие полностью уничтожены эрозией.

Авторы предлагаемой концепции обратили внимание на то, что применительно к россыпям денудационный срез должен рассматриваться и как фактор, определяющий условия поступления рудного вещества из коренных источников в россыпи и тем самым позволяющий восстанавливать историю формирования россыпей и изменения их продуктивности во времени.

Если для прогнозирования эндогенного оруденения значение имеет суммарный пострудный срез, указывающий, сколько руды осталось в недрах, то для россыпей он представляется менее существенным, поскольку лишь позволяет оценить относительное время вступления коренного источника в сферу денудации. Непосредственное же значение для россыпеобразования приобретает срез с начального момента выведения на палеоповрхность источников россыпеобразующей формации, который определяется как срез коренных источников. Характерно, что для большинства территорий, за исключением площадей с молодым кайнозойским оруденением, продолжительность экспонирования коренных источников во много раз превышает временной интервал образования сохранившихся металлоносных осадков. Суммарный срез коренных источников характеризует вероятный объем полезного компонента, который, однажды вступив в сферу денудационных процессов, подвергался многократному переотложению по латерали и на более низкие гипсометрические уровни. В соответствии с двумя главными тенденциями, действующими в россыпеобразовании — рассеянием и концентрацией по-

лезного компонента [2, 7, 15, 22, 38] и с учетом различий  $K_{г\gamma}$  и миграционной способности россышеобразующих минералов [46] — роль суммарного среза коренных источников неоднзначна. Для россыпей, образованных минералами, способными накапливаться в россыпях дальнего переноса (аллохтонных), он играет роль фактора; непосредственно работающего на формирование россыпей. По отношению к россыпям ближнего сноса, например, оловянных, большая часть этого среза, особенно при длительном разрыве во времени между выведением коренных источников на поверхность и образованием россыпей, по существу, характеризует долю полезного компонента, рассеянного и удаленного из сферы россышеобразования. Иную роль играет срез, синхронный образованию форм-коллекторов, который представляет собой полезный эродирuemый объем, доказательством чему служит установленная статистически отчетливая корреляционная связь между продуктивностью оловянных россыпей и этим объемом, выраженным через показатели пространственного соотношения оруденения и долин [4, 25, 26].

В этой трактовке денудационный срез приобретает гораздо большую смысловую нагрузку, нежели в его более узком, традиционном металлогеническом смысле, поскольку он включает в себя такие аспекты, как последовательность, стадийность и неравномерность развития среза в отдельные этапы пострудного развития территории, палеогеоморфологические условия, в которых происходило вскрытие оруденения, и динамику пространственного соотношения коренных источников с формами-коллекторами россыпей. Последний аспект получил развитие в совместных работах В. И. Кленова и Н. Г. Патык-Кара по применению компьютерных моделей развития долин для оценки отраженной рудной зональности и продуктивности россыпей [18].

**Генезис россыпей как функция рельефообразующих процессов.** Единый ряд экзогенных форм и коррелятных им отложений и россыпей начинают элювиальные и склоновые образования, а замыкают прибрежные и литоральные россыпи. Сюда же можно отнести техногенные россыпи, созданные деятельностью человека [12, 46 и др.]. Исследование генезиса россыпей как одного из проявлений рельефообразующего процесса шло через разработку единой генетической схемы, связавшей развитие рельефа и генетические типы отложений — от элювиальных и криогенных до карстовых и золотых — с процессами россышеобразования.

Центральное место в ней занимает положение о динамических стадиях развития долин (инстративной, констративной и перстративной) и двух категориях (функциях) флювиальных процессов (размыв — отложение аллювия, врезание — накопление аллювия) [11, 16, 47, 46].

**Стадия врезания (инстративная)** наиболее характерна для рек горных стран. На этой стадии формируются русла специфического «инстративного» облика, инстративные поймы и флювиально-абразионные уступы. Для аллювия инстративной динамической стадии характерны преобладание крупного материала (валуны, галька, гравий) над мелким (песок, ил, глина), слабая окатанность и сортированность, малая мощность отложений. Инстративный аллювий является геологически наиболее ранним образованием стадии врезания долины, важнейшей для формирования богатых автохтонных аллювиальных россыпей, образованных наиболее крупными фракциями золота.

**Стадия накопления аллювия (констративная)** характеризуется тем, что водоток не справляется с переработкой аллювия, выносимого притоками. Активное участие в поставке материала принимают склоновые процессы, продуцирующие пролювиально-солифлюкционные потоки плохо сортированного водонасыщенного материала [11, 13, 14]. В констративном аллювии мелкий материал преобладает над крупным, хотя в некоторых фациальных разностях соотношения могут быть и обратными. Мощность констративных толщ достигает, в зависимости от амплитуды и длительности опускания, десятков и сотен метров.

Для образования плотиковых россыпей золота и олова констративная стадия в целом неблагоприятна, поскольку по мере аккумуляции происходит «растягивание» порций полезного компонента на всю мощность констративной толщи. Вместе с тем, в определенных условиях, например, при постоянстве подпитки россыпи с бортов долины, а также в россыпях, образованных тонкими и мелкими классами полезного компонента, констративные толщи могут заключать весьма значительный суммарный запас олова (все россыпи зон тектонических уступов) или золота (пример: Куранахская россыпь золота в Якутии).

Стадия динамического равновесия (перстративная) сменяет либо стадию врезания, либо стадию накопления аллювия. Формирующиеся в эту стадию перспективные поймы обычно по ширине в 10—20 раз превосходят русла и отличаются следующими морфогенетическими чертами: меандрирующим руслом, постоянными перестройками поверхности пойм с остатками невысоких перстративных террас. При переходе от врезания к равновесию аллювий перстративной стадии дифференцируется на русловую, пойменную и старичную фации, а нижние, не затронутые перемывом, горизонты обособляются в фацию плотикового аллювия. При переходе от аккумуляции к равновесию формируется перстративный аллювий, залегающий непосредственно на констративном. *Плотиковому аллювию* — весьма специфическому образованию перстративной стадии развития долины — принадлежит особая роль в концентрации малоподвижных классов россыпеобразующих минералов [10]. Сформировавшись при переходе от врезания к равновесию, этот горизонт в дальнейшем представляет собой относительно консервативную фацию на контакте коренного ложа реки и вышележащего аллювия и выступает своеобразным «накопителем» ценных минералов. Именно плотиковые россыпи составляют основу запасов золота в аллювиальных россыпях большинства золотоносных районов.

Таким образом, в разные динамические стадии русловой поток выполняет различные россыпеобразующие функции, одновременно создавая неодинаковую морфоскульптуру днищ речных долин, которая позволяет ориентировать поиски на выявление того или иного динамического класса россыпей.

Динамический подход оправдал себя и при анализе других генетических типов россыпей. Баланс материала на склонах определяет важнейшие черты морфологии и строения продуктивного пласта склоновых россыпей, играющих, как известно, значительную роль в распределении запасов и ресурсов золота и олова, особенно при расположении коренных источников на водораздельных пространствах и склонах долин, а также участие этих источников в питании аллювиальных россыпей. Установлено, что на склонах сноса, характеризующихся отрицательным балансом материала, продуктивный пласт смещен к основанию деятельного слоя, на транзитных склонах он существенно растянут по вертикали, а при положительном балансе материала смещен к верхней части разреза склонового чехла. Принципы динамической классификации используются и при анализе литоральных (россыпи абразионных платформ и аккумулятивных пляжей) и эоловых (дефляционные и дефлюированные) россыпи и россыпи аккумулятивного дюнного комплекса) россыпей.

**Морфогенетические типы россыпей.** Неоднородность развития эрозионно-денудационного среза и многообразие эрозионно-аккумулятивных процессов в речных долинах, в совокупности определяющие условия залегания, возрастной диапазон, морфологию россыпей, не могут рассматриваться вне связи с морфоструктурными и неотектоническими особенностями территории. Концентрированным выражением этих процессов являются морфогенетические типы россыпей — совокупности россыпей определенного генезиса, в строении и геоморфологической позиции которых отражены важнейшие особенности истории их развития [36]. Разработки авторов, касающиеся выделения морфогенетических типов россыпей, существенно развивают представления Ю. А. Билибина,

А. П. Божинского, Ю. П. Казакевич [4, 9, 21 и др.]. Вместе с тем они содержат принципиально новые данные в части морфогенетической классификации погребенных россыпей внутригорных впадин, приморских равнин и зон шельфа, особенно применительно к россыпям олова и вольфрама [3, 5, 29, 30 и др.]. При анализе впадин с различным режимом развития было установлено, что наряду с морфогенетическими типами погребенных россыпей, в целом сходных по строению с близповерхностными россыпями районов денудационного рельефа, во впадинах формируются принципиально отличные по своему строению типы месторождений, каковыми, например, являются россыпи погребенных грабен-долин и россыпи зон тектонических уступов.

Россыпи зон тектонических уступов, впервые описанные в 1976 г. [32], формируются на границе структур с различным режимом развития, например, поднимающегося или опускающегося блоков или при значительном отставании одного из блоков на фоне общего поднятия и, как правило, характеризуются сложным сочетанием генетических и фациальных типов металлоносных отложений (от коры выветривания до прибрежно-морских), значительными перепадами мощностей песков и торфов, повышенными содержаниями полезного компонента и мощностью продуктивного пласта вблизи границы уступа. На основании сопоставления двух известных к тому времени оловоносных россыпей в зонах тектонических уступов было сделано предположение, что число таких месторождений, характеризующихся значительными запасами полезного компонента, будет существенно увеличено. В дальнейшем представление о россыпях зон тектонических уступов как ведущем промышленно-генетическом типе россыпей рифтогенных впадин, приморских равнин и шельфовой зоны развивалось в работах [4, 29]. В настоящее время этот вывод полностью подтвердился — все крупнейшие россыпные месторождения олова Якутии (Тенкели, Кислый-Мамонт, Тирехтах) и шельфа восточно-арктических морей СССР (Чокурдах, Валькумейская, Западная в Северо-Ляховском районе, проявление олова на шельфе вблизи м. Биллингса) относятся к россыпям зон тектонических уступов.

**Россыпные формации, закономерности размещения россыпей в структурах земной коры.** В пределах конкретного рудно-россыпного узла и района, в зависимости от режима их тектоногеоморфологического развития, приходится иметь дело с закономерными сочетаниями морфогенетических типов россыпей, которые могут использоваться для типизации россыпных площадей на структурно-геоморфологической основе. Эти связанные между собой парагенетические сообразования россыпей — россыпные формации — обнаруживают, с одной стороны, связь с осадочными формациями (в понимании Н. С. Шатского), а с другой, являются производными от определенных геоморфологических формаций (в понимании Н. А. Флоренсова и О. В. Кашменской), причем последнее свойство особенно отчетливо проявляется в россыпях ближнего сноса. Это позволило провести типизацию россыпных формаций (РФ) в соответствии с основными тенденциями развития геоморфологической системы [28]: РФ растущих гор, РФ снижающихся гор, РФ пенеплена (денудационных и денудационно-аккумулятивных равнин), РФ компенсированных впадин (внутри- и периконтинентальных), РФ некомпенсированных впадин. Первые три типа РФ объединяют всю совокупность россыпей, связанных с денудационным рельефом, и включают абсолютное большинство россыпей ближнего сноса — золота, олова, вольфрама, платиноидов, тантала и ниобия и др., два других типа РФ объединяют россыпи, локализованные в осадочном чехле внутриконтинентальных равнин и шельфовой зоны, и включают основную массу комплексных редкометалльно-титановых россыпей, а также россыпи янтаря, отчасти — алмазов.

Основываясь на связи макроформ рельефа с основными структурными элементами земной коры, представляется также возможным рассматривать типизацию россыпей в рамках рядов формаций, отвечающих основ-

ным типам структур земной коры. В этой связи уместна параллель. Как совокупность (парагенезис) рудных формаций отражает ведущие металлогенические различия, свойственные главным типам структур земной коры, так и парагенезисы россыпных формаций в пределах последних служат одним из проявлений свойственного данной структуре стиля геоморфологического развития [28, 49]. Соответственно были выделены и описаны четыре ряда россыпных формаций: геосинклинальный, орогенный эпигеосинклинальный, орогенный эпиплатформенный, платформенный, отличающиеся как по минеральным классам россыпей, так и по набору россыпных формаций (и входящих в их состав морфогенетических типов).

Указанный подход явился естественным развитием тектоногеоморфологических основ россыпеобразования в виде единой концепции структурно-генетических связей тектонических событий, магматизма, коррелирующегося с ним рудогенеза и геоморфологической эволюции территории, разработанной первоначально применительно к золото- и оловоносным провинциям Северо-Востока СССР [45].

Выделение рядов россыпных формаций открыло возможности минералогического подхода в типизации россыпных площадей на металлогенической и структурно-геоморфологической основе. По мнению авторов концепции, предложенный подход позволяет:

проследить эволюцию россыпеобразования на протяжении нескольких этапов тектоногеоморфологического развития с выделением реликтовых (в том числе ископаемых) и наложенных РФ;

вести комплексную оценку полиминеральных и россыпных провинций и районов, выходя за рамки только одного (как это было принято ранее) минерального класса россыпей;

прогнозировать ранее неизвестные для данного района минеральные классы, возрастные группы и морфогенетические типы россыпей.

## ЛИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕРИИ РОССЫПЕОБРАЗОВАНИЯ

Модель россыпеобразования, предложенная Ю. А. Билибиным, опиралась на высказанное в начале 30-х гг. Н. Н. Горностаевым положение о том, что формирование россыпей начинается с полного высвобождения рудного вещества уже в коре химического выветривания, поэтому образование россыпей в условиях холодного климата невозможно\*. Рекомендовалось концентрировать поиски россыпей на площадях с развитием «...первых продуктов перемыва (коры выветривания) — „белых“ и „тяжелых“ россыпей и „кавардаков“, так как именно эти образования неизбежно оказываются наиболее богатыми из всех типов россыпных месторождений» [6, с. 134]. Эта мысль развивалась Ю. А. Билибиным, который подчеркивал, что «наибольшая порция металла может быть подготовлена в процессе пенеппенизации местности... В аллювиальную россыпь этот металл поступает лишь после того, как пенеппен будет... расчленен новыми долинами» [1].

Таким образом, из сферы внимания практически полностью выпадали континентальные формации, отвечающие холодным климатическим эпохам. Однако уже в середине 50-х гг. были получены факты, опровергнувшие эту точку зрения. К их числу относятся выявление на Северо-Востоке СССР богатых россыпей в долинах позднеплейстоценового возраста без каких-либо признаков перемыва древних кор выветривания, а также приуроченность максимума продуктивности многих россыпей золота и олова в возрастном отношении к средне- и верхнеплейстоценовым эпохам похолодания и оледенения. Это означало, что активность россыпе-

\* Эта концепция полностью справедлива для комплексных россыпей дальнего переноса, формирующихся за счет региональных коренных источников, но не вскрывает всех закономерностей формирования и строения россыпей ближнего сноса — золота, олова и ряда других металлов.

образования не только не снижалась, но и нарастала в эпоху господства криогенных процессов [48]. Анализ этих и ряда других явлений привел к выводу о том, что для целого ряда россыпей и районов, в том числе для главной россыпной провинции страны — Северо-Востока Азии, перигляциальный литогенез явился фоном, определившим особые черты процесса россыпеобразования [41, 43, 47].

Впервые тезис о специфической криогенной модели переноса полезных компонентов в долинах сформулировал Н. А. Шило в 1965—1966 гг. [41], тогда же было высказано мнение, вызвавшее широкую дискуссию, об исключительно благоприятной роли субполярных обстановок для россыпеобразования в целом.

**Криогенная деструкция рудного материала.** Лабораторные и натурные эксперименты показали, что длительное нахождение руд и горных пород в статически и динамически напряженном состоянии и при отрицательных температурах создает «предразрушение» рудно-кристаллического вещества и его быстрый распад при его попадании в слой знакопеременных температурных колебаний, влечет за собой быстрое высвобождение россыпеобразующих минералов. При определенной размерности полезного компонента уже на ранних стадиях криогенного выветривания достигается весьма высокая степень высвобождения [52], соизмеримая с наблюдаемой при химическом выветривании, с той разницей, что в зоне криолитогенеза она не сопровождается заметным химическим преобразованием россыпеобразующих минералов [57, 58].

Установлено, что для россыпеобразования играет роль оптимальный уровень высвобождения россыпеобразующих минералов, т. е. та его степень, которая обеспечивает наилучшие условия их сохранности и концентрации в россыпях [4]. Для минералов, обладающих низкой миграционной способностью (например, киноварь), высокая степень высвобождения далеко не всегда положительный фактор, поскольку она лишает минерал защитного влияния породы и способствует тем самым его быстрому истиранию; напротив, защитное влияние вмещающей породы способствует формированию аллювиальных россыпей, образованных хрупкими минералами (например, вольфрамитом).

**Мобилизация полезного компонента на водоразделах и склонах речных долин** происходит под влиянием нарастающего в слое сезонного протаивания измельчения материала с уже ослабленными криогенными процессами связями.

Фактором, усиливающим в криолитозоне связь россыпей в долинах с их коренными источниками и промежуточными коллекторами, служит также высокая скорость поступления склоновых отложений к руслам водотоков, особенно на участках десерпционных и солифлюкционных склонов. По нашим оценкам [55] и расчетам других исследователей, скорость перемещения склоновых масс в типичных условиях криолитозоны золотоносных районов составляет  $0,02 \div 10$  м/год. Этим обеспечивается непрерывное поступление продуктивного материала к днищу долины, а также быстрая переработка более древних террасовых уровней в террасоувалы. К специфическим чертам переработки россыпей на склонах и водоразделах следует отнести также суффозионное воздействие. Тип процесса и баланс материала на том или ином участке склона определяют вертикальный разрез склоновых россыпей, а также степень их участия в питании россыпей флювиального ряда. При прочих равных условиях они оказывают существенное влияние на эффективность подпитки россыпей за счет коренных источников, вскрывающихся в бортах долины [31].

**Русловой процесс в криолитозоне.** Условия перигляциального литогенеза определяют специфику русловых россыпеобразующих процессов. Прекращение стока многих рек практически на 8—9 месяцев, полное промерзание речного ложа к моменту весеннего паводка приводят к тому, что паводковая волна, скатываясь по еще непротаявшему субстрату, производит меньшую работу по транспортировке обломочного материала, чем это позволяли бы уклон водотока и расходы воды в иных условиях.



По этой причине в небольших долинах (III—IV, реже V порядков) развивается мерзлотная агградация отложений и происходит скопление относительно крупнообломочного материала.

Мощные деструкционные процессы развиваются непосредственно на контакте водно-обломочной среды с подстилающими, периодически промерзающими и протаивающими, коренными породами. Русловой процесс как агент физического разрушения пород [60] в условиях криолитозоны усиливает криогенную деструкцию периодически протаивающих пород речного днища. В итоге в речных долинах происходит формирование подземного (долинного) элювия и своеобразного граничного слоя, сочетающего в себе признаки аллювиального и криогенного происхождения. К указанным отложениям приурочен особый вид элювиально-аллювиальных россыпей [53].

**Поведение россыпеобразующих минералов в водно-аллювиальной среде.** Одно из ключевых понятий геологии россыпей — миграционная способность минералов. В ней отражены главные россыпеобразующие свойства минералов — их гипергенная устойчивость (подверженность химическим и механическим воздействиям), гидравлическая крупность, способ взаимодействия с перемещающей средой (смачиваемость) и др.

Наиболее спорным представлялось поведение россыпеобразующих минералов, например золота, в водно-аллювиальной среде, что нашло отражение в двух крайних точках зрения: золото перемещается в водном потоке вместе со всей массой обломочного материала; золото практически не перемещается, а только переотлагается на более низкие гипсометрические уровни.

Зародившись в конце прошлого века, эта проблема была разрешена лишь в конце 70—80-х гг. в значительной мере после глубокой теоретической проработки обширного фактического материала по Яно-Колымскому поясу [46], последовавшей затем напряженной дискуссии в 60—70-х гг. [2, 20, 33, 39] и лабораторных экспериментальных исследований по перемещению золота и близких к нему по своим гидравлическим свойствам россыпеобразующих минералов в водно-аллювиальной среде [50, 59 и др.].

Было, в частности, установлено, что главными гидрологическими параметрами, характеризующими диапазон наиболее часто встречающихся условий концентрации золота в водно-аллювиальной среде в реках Яно-Колымского пояса, являются максимальные скорости течения в пределах 2,1—3,1 м/с и вертикальная составляющая скорости 0,2—0,28 м/с [54].

Существенно уточнены литологические свойства водно-обломочной среды, в которой происходило накопление золота [56, 57]. В частности, установлено, что в долинах низкого порядка, вследствие грубо неоднородного состава аллювия, не происходит его перемещение в виде сплошного придонного слоя, как это полагал Ю. А. Билибин. Дно водотока, обладающее высокой степенью шероховатости, гасит скорость потока и создает условия для накопления минералов с определенными значениями  $K_{г\gamma}$  и с повышенной гидравлической крупностью.

Третья группа факторов, задающих условия россыпеобразования, это гидравлические свойства самих ценных минералов, изученные экспериментально применительно к условиям Северо-Востока [50, 51].

Динамика и параметры водно-аллювиальной среды определяют несколько механизмов концентрации россыпеобразующих минералов [55, 56, 59].

Минералы повышенной плотности — от касситерита и вольфрамитов (плотность 7 г/см<sup>3</sup>,  $K_{г\gamma} = 1,65$  и 1,55) до золота и иридийной платины (плотность 15—23 г/см<sup>3</sup>,  $K_{г\gamma} = 1,65$  и 2,17), зерна которых имеют повышенную гидравлическую крупность (от 0,2 до 0,45 м/с и выше), — подчиняются эффекту гравитационной диффузии, который возникает в силу вихревой структуры потока, вибраций обломочного материала на

речном дне, периодического промерзания и протаивания донного аллювия и других факторов, что экспериментально доказано Л. П. Мацуевым, Н. А. Шило, Ю. В. Шумиловым и др. В искусственных средах именно этот механизм концентрации используется в работе обогатительных устройств при добыче россыпного золота и касситерита.

Сегрегационный механизм концентрации реализуется при размещении коренного источника непосредственно в днище долины. Он является одним из ведущих при формировании остаточных аллювиально-элювиальных россыпей, почти полностью совпадающих с контурами первичной рудной залежи, уничтожаемой эрозией.

Миграционно-остаточный механизм концентрации вызывает постепенное обособление и накопление ценных минералов в нижнем слое движущегося аллювия. В отличие от первых двух механизмов концентрации, формирующих преимущественно автохтонные россыпи, миграционно-остаточный формирует россыпи промежуточного типа, обладающие признаками авто- и аллохтонности.

Миграционный механизм концентрации характерен для минералов, обладающих малой гидравлической крупностью, плотностью 4—5 г/см<sup>3</sup>, но довольно высокими значениями  $K_{г\gamma}$ . Такие минералы (пъезокварц, алмаз, монацит, рутил и др.) по своим свойствам близки к основной массе аллювиального осадка, поэтому мигрируют по долине вместе с переносимым рекой материалом и лишь в течение длительного времени, в силу повышенной устойчивости, относительно накапливаются в русловой фации аллювия. Таким образом образуются только аллохтонные россыпи.

**Россыпеобразующая функция гляциального литогенеза.** К началу постановки на Северо-Востоке СССР работ рассматриваемого цикла господствовало представление, что «значительное оледенение горных областей Северо-Востока следует рассматривать как резко отрицательный фактор в развитии россыпных месторождений» [19, с. 151]. Этому выводу способствовали еще более ранние представления, согласно которым «районы, в которых получили большое развитие ледники альпийского типа, в смысле открытия уцелевших древних аллювиальных отложений следует считать совершенно безнадежными» [35, с. 71]. Ю. А. Билибин в 30-х гг. также разделял эти воззрения. Считая, что золотоносные районы подверглись «чрезвычайно широкому и притом неоднократному оледенению» [1, с. 258], он полагал также, что при своем движении «ледник сдирает весь обломочный материал, покрывающий поверхность долины» [1, с. 259]. Поэтому «доледниковая аллювиальная россыпь выпаживается ледником, ... вообще перестает существовать как промышленный объект» [1, с. 269].

К началу 50-х гг. в геологии россыпей утвердилась точка зрения, что оледенения и россыпи являются антагонистичными геологическими явлениями. Только в конце 50-х — начале 60-х гг. [42] на основе детального анализа фактического материала по золотоносным долинам [40, 42, 44] и привлечения теории вязкопластического течения масс был сделан вывод, что «история геолого-разведочных работ на Северо-Востоке вообще и в пределах Яно-Колымского золотоносного пояса, в частности, практически не знает случаев «выпахивания аллювия» в ледниковых долинах, разрушающего действия ледников на аллювиальные металлоносные отложения» [44, с. 41]. «Ошибочные представления о масштабах древних оледенений на Северо-Востоке и преувеличение экзарационной деятельности ледников препятствовали и постановке геолого-поисковых и разведочных работ в ледниковых областях и задерживали открытие перспективных золотоносных районов и их промышленное освоение» [Там же, с. 42].

Этот вывод дал импульс геологическим работам в новом направлении, и уже к 1964—1967 гг. ситуация резко изменилась — на Чукотке и в бассейне Колымы под моренными отложениями мощностью до 100 м и более были выявлены богатейшие россыпи золота [48].

Дальнейшее развитие представление о россыпеобразующей роли гляциального литогенеза получило в работах авторов, относящихся к 70—80-м гг. Было установлено, что эта роль зависит от исходных условий залегания продуктивного аллювия в доледниковой долине и от динамических фаз развития ледников. При этом ледник может выступать в роли поставщика металлоносного материала, за счет которого образуются россыпи, в роли консерванта, сохраняющего россыпь, и лишь очень редко — в роли механического агента, деформирующего россыпь. Новые данные по островам Арктики, где развито современное покровное оледенение (работы ПГО Севморгеология), подтвердили, что россыпи могут формироваться и сохраняться как под самым ледником, так и у его края, т. е. гляциальный литогенез не противоречит возможности россыпеобразования.

Признание факта возникновения обширной криоаридной зоны в эпохи глобального похолодания климата и лессовой природы отложений, слагающих обширные низменные равнины Субарктики, поставило вопрос о сопоставимых с ними по масштабу процессах эоловых денудации — дефляции, которым должны были подвергаться более древние комплексы осадков, в том числе металлоносные осадки иного генезиса. Важная концентрирующая дефляционная деятельность ветра признавалась многими исследователями, в том числе Ю. А. Билибиным, который, однако, не считал возможным называть подобные россыпи дефляционными и полностью относил их к элювиальным [1].

В 1960 г. [17] впервые был поставлен вопрос о целесообразности выделения и специального изучения россыпных концентраций, связанных с дефляционной переработкой металлоносных образований. В 70-х гг. представление о широком развитии дефляционных процессов в эпохи похолодания климата развивалось А. А. Котовым, определившим средний плейстоцен на севере Якутии как «эпоху великого пылеобразования». Впоследствии гипотеза эолового россыпеобразования нашла свое подтверждение в работах коллектива Института геологии ЯФ СО АН СССР (Э. Д. Избеков, Э. В. Никифорова, В. Е. Филиппов), а применительно к ископаемым россыпям и металлоносным конгломератам — в концепции дефляционного россыпеобразования А. А. Котова, И. С. Бредихина, В. Г. Лешкова.

Таким образом, с литогенетических позиций перигляциальное россыпеобразование обладает следующими признаками:

специфическое мерзлотное выветривание с формированием мощных сульфатных зон окисления в мерзлых массивах и продуцированием тонкодисперсного материала, способствующее в общем случае значительному высвобождению россыпеобразующих минералов без существенного их химического изменения;

высокая энергия склоновых процессов, определяющая условия поступления рудного вещества с бортов и более высоких террасовых уровней в днище долины, а также участие слабопереработанных солифлюкционных склоновых масс в составе аллювия перстративной и констративной стадий;

энергичное подрусловое выветривание, повышающее россыпеобразующую роль коренных источников, расположенных непосредственно в днище долин; мерзлотная переработка аллювия, способствующая дополнительному высвобождению значительных порций полезного компонента на флювиальной стадии литогенеза;

возникновение в криоаридных условиях дефляционных концентраций и вторично дефлюированных прослоек и горизонтов металлоносных осадков, подвергшихся дополнительному природному обогащению;

ослабленные в силу ледовитости бассейнов литодинамические процессы в прибрежной зоне, препятствующие образованию комплексных литоральных россыпей дальнего переноса, но благоприятно влияющие на сохранность россыпей ближнего сноса, связанных с локальным коренным источником, которые характерны для минералов, обладающих  $K_{гy}$

1,6 и более. Это обстоятельство является одним из факторов, определяющих минерагенический облик шельфовых зон высокоширотных морей, которые, как правило, представляют собой россыпные провинции золото-олово(платино)носных россыпей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Билибин Ю. А. Основы геологии россыпей.— М.; Л., 1938.
2. Бондаренко Н. Г. Образование, строение и разведка россыпей.— М.: Недра, 1975.
3. Быховский Л. З., Гурвич С. И., Патык-Кара Н. Г. и др. Условия формирования и перспективы поисков вольфрамовых россыпей в центральной части хр. Полуострова // Минералогия и геохимия вольфрамовых месторождений.— Л.: Изд-во ЛГУ, 1971.— С. 36—42.
4. Геологические критерии поисков россыпей — М.: Недра, 1981.
5. Геология оловянных россыпей СССР, методы их поисков и оценки/Под. ред. С. Ф. Лугова.— М.: Недра, 1978.
6. Горностаев Н. Н. О некоторых вопросах геоморфологии и происхождения россыпей // Труды треста «Золоторазведка» и института НИИРудозолото. Вып. 6.— М.; Л., 1937.— С. 119—136.
7. Гурвич С. И. Закономерности размещения редкометаллических и оловоносных россыпей.— М.: Недра, 1978.
8. Избеков Э. Д. Образование и эволюция россыпей.— Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1985.
9. Казакевич Ю. П. Условия образования и сохранения сложных погребенных россыпей золота — М.: Недра, 1972.
10. Карташов И. П. О плотиковой фации аллювия // Колыма.— 1958.— № 1.— С. 37—49.
11. Карташов И. П. Фации, динамические фазы и свиты аллювия // Изв. АН СССР. Сер. геол.— 1961.— № 9.— С. 77—99.
12. Карташов И. П. Генетическая классификация аллювиальных отложений и связанных с ними россыпей // Геология россыпей.— М.: Наука, 1965.— С. 34—41.
13. Карташов И. П. Оценка влияния геоморфологических условий при поисках аллювиальных россыпей // Разведка и охрана недр.— 1966.— № 9.— С. 14—18.
14. Карташов И. П. Террасоувалы и связанные с ними рыхлые отложения и россыпи // Докл. АН СССР.— 1966.— Т. 160, № 2.— С. 1117—1124.
15. Карташов И. П. Автохтонные и аллохтонные россыпи // Литология и полезн. ископаемые.— 1971.— № 4.— С. 75—81.
16. Карташов И. П. Основные закономерности геологической деятельности рек горных стран (на примере Северо-Востока СССР).— М.: Наука, 1972.
17. Карташов И. П., Шило Н. А. Закономерности размещения россыпей, обусловленные экзогенными процессами // Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 3.— М.: Изд-во АН СССР, 1960.— С. 304—321.
18. Кленов В. И., Патык-Кара Н. Г. Численное моделирование формирования россыпей и эрозионного среза // Геол. метод. поиск. м-ний метал. полезн. ископ.: Экспресс-информ. ВИЭМС. Вып. 9.— М., 1986.— С. 1—8.
19. Колосов Д. М. Проблемы древнего оледенения Северо-Востока СССР // Тр. ГГУ Главсевморпути. Вып. 30.— М.; Л., 1947.— С. 3—175.
20. Лапин С. С. О понятии «россыпь» и возрасте золотых россыпей // Геология россыпей.— М.: Наука, 1965.— С. 98—102.
21. Методы разведки и подсчета запасов россыпных месторождений полезных ископаемых.— М., 1965. (Тр. ЦНИГРИ; Вып. 65).
22. Нестеренко Г. В. Происхождение россыпных месторождений.— Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1977.
23. Нифонтов Р. Ф. Геология россыпей // Тр. треста «Золоторазведка» и ин-та НИГРИЗолото.— 1937.— Вып. 6.— С. 10—21.
24. Патык-Кара Н. Г. Виды и особенности зональности оловянных россыпей // Литология и полезн. ископаемые.— 1976.— № 2.— С. 76—88.
25. Патык-Кара Н. Г. Оценка объема рудного вещества, переведенного в россыпь // Сов. геология.— 1977.— № 8.— С. 134—137.
26. Патык-Кара Н. Г. Методика количественного прогнозирования россыпных месторождений олова // Там же.— 1979.— № 10.— С. 84—92.
27. Патык-Кара Н. Г. Зональность россыпей // Экспресс-информ. ВИЭМС.— 1980.— Вып. 7.
28. Патык-Кара Н. Г. Россыпные формации и их значение для типизации металлоносных площадей // Литология и полезн. ископаемые.— 1980.— № 2.— С. 76—83.
29. Патык-Кара Н. Г., Билибин И. Н., Быховский Л. З. и др. Кайнозойское осадконакопление и условия формирования оловоносных россыпей хр. Полуострова // Там же.— 1971.— № 1.— С. 42—53.
30. Патык-Кара Н. Г., Логинова И. Э. Гравитационная сортировка минеральных зерен как показатель интенсивности денудационных процессов // Там же.— 1973.— № 4.— С. 107—113.
31. Патык-Кара Н. Г., Никонов А. И., Плахт И. Р. Основные черты строения многоарусных оловянных россыпей тектонических впадин // Сов. геология.— 1976.— № 9.— С. 129—133.

32. *Патык-Кара Н. Г., Арманд Н. Н.* Некоторые особенности прогнозирования морфогенетических типов погребенных россыпей олова аккумулятивных равнин // Литология и полезн. ископаемые.— 1979.— № 10.— С. 84—92.
33. *Рожков И. С.* Основные проблемы геологии россыпей золота // Тр. ЦНИГРИ.— 1967.— Вып. 76.— С. 5—21.
34. *Россыпи золота и их связь с коренными месторождениями Якутии.*— Якутск: Кн. изд-во, 1972.
35. *Скорняков П. И., Тупицын Н. В.* Геолого-геоморфологический очерк Охотско-Колымского края // Материалы по изучению Охотско-Колымского края. Сер. I. Геол. и геоморфол. Вып. 10.— М.; Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1936.— С. 1—72.
36. *Словарь по геологии россыпей*/Под ред. Н. А. Шило.— М.: Недра, 1985.
37. *Трушков Ю. Н.* Теоретическая связь россыпей с коренными источниками и реконструкция последних (геометрическая модель на простейших примерах) // Россыпи золота и их связь с коренными месторождениями Якутии.— Якутск: Кн. изд-во, 1972.— С. 5—13.
38. *Флеров И. Б., Трофимов В. С.* Типы промышленных концентраций минералов в аллювии в связи с условиями россыпеобразования // Перемещение полезных компонентов в долинах/ЯФ СО АН СССР, Якутск, 1977.— С. 9—16.
39. *Хрипков А. В.* Распределение золота в россыпях Северо-Востока и густота сети поисковой разведки/ОНТИ СНХ.— Магадан, 1958.
40. *Шило Н. А.* О возрасте золотоносных россыпей Северо-Востока СССР // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Вып. 6.— Магадан, 1949.— С. 7—21.
41. *Шило Н. А.* Формы переноса золота при образовании россыпей // Тр. ВНИИ-1. Геология. Вып. 9.— Магадан, 1955.— С. 15—23.
42. *Шило Н. А.* Древнее оледенение Северо-Востока и его влияние на россыпную золотоносность Яно-Колымского пояса // Тр. ВНИИ-1. Геология.— 1959.— Вып. 44.— С. 149—162.
43. *Шило Н. А.* Роль субполярного климата в образовании и размещении россыпей // Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 4.— М.: Изд-во АН СССР, 1960.— С. 20—29.
44. *Шило Н. А.* Четвертичные отложения Яно-Колымского золотоносного пояса, условия и этапы их формирования.— Магадан: Изд-во ВНИИ-1, 1961.
45. *Шило Н. А.* Тектоногеоморфологическая эволюция поверхности на Северо-Востоке СССР // Тр. СВКНИИ.— 1967.— Вып. 30.— С. 1—19.
46. *Шило Н. А.* Основы учения о россыпях.— М.: Наука, 1981.
47. *Шило Н. А.* Происхождение современных ландшафтов континентального севера // Тихоокеан. геология.— 1989.— № 1.— С. 3—10.
48. *Шило Н. А., Шумилов Ю. В.* Новые экспериментальные данные о поведении частиц золота в водной среде // Докл. АН СССР.— 1970.— Т. 195, № 1.— С. 193—196.
49. *Шило Н. А., Орлова З. В., Шумилов Ю. В.* Новые данные для реконструкции ледниково-флювиального рельефа Западной Чукотки по кластическим отложениям // Тр. СВКНИИ.— 1972.— Вып. 44.— С. 173—184.
50. *Шило Н. А., Шумилов Ю. В.* Механизм поведения золота в процессах формирования россыпей Северо-Востока СССР // Докл. сов. геол. на XXV сессии МГК Минеральные месторождения.— М.: Наука, 1976.— С. 156—168.
51. *Шило Н. А., Шумилов Ю. В., Спорыхина Л. В.* Физико-химическое выветривание оловянных руд в условиях эксперимента // Докл. АН СССР.— 1981.— Т. 258, № 6.— С. 1432—1435.
52. *Шило Н. А., Патык-Кара Н. Г.* Особенности минерации платформ южного полушария (VIII Совещание по геологии россыпей)/ИГФМ АН УССР.— Киев, 1987.
53. *Шумилов Ю. В.* О выделении элювиально-аллювиального типа россыпей // Колыма.— 1970.— № 11.— С. 40—41.
54. *Шумилов Ю. В.* К вопросу о количественной оценке процессов россыпеобразования // Проблемы геологии россыпей.— Магадан, 1970.— С. 125—133.
55. *Шумилов Ю. В.* Механизм концентрации золота при формировании аллювиальных россыпей // Тр. СВКНИИ.— 1976.— Вып. 69.— С. 209—213.
56. *Шумилов Ю. В.* Физико-географическая среда и современные геологические процессы на Северо-Востоке СССР // Природные ресурсы Северо-Востока СССР/ДВНЦ АН СССР.— Владивосток, 1976.— С. 46—54.
57. *Шумилов Ю. В.* Физико-химические и литогенетические факторы россыпеобразования.— М.: Наука, 1981.
58. *Шумилов Ю. В.* Континентальный литогенез и россыпеобразование.— Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1986.
59. *Шумилов Ю. В., Шумовский А. Г.* Экспериментальные данные о гидравлической крупности некоторых пилхвых минералов Северо-Востока СССР // Докл. АН СССР.— 1975.— Т. 255, № 5.— С. 1174—1176.
60. *Шумилов Ю. В., Воронцов В. Н., Шевченко И. С.* Устройство для изучения процесса транспортировки минералов водным потоком. (Авт. свидет. № 594477). Оф. Бюлл. «Открытия, изобретения ...».— 1978.— № 7.