

The paper describes inherited depressional valleys formed by the karst and piping processes on the high Quaternary terraces of the Volga River near Kazan' city. The erosional network of the paleo-Volga initiated karstification of the underlying sulfate rocks dated to the Lower Permian. After the ancient valleys had been covered by Neogene and Quaternary deposits, the piping acted within the covering mantle over the karst zones; as a result, the ancient erosional network has been revealed on the present-day surface.

УДК 550.81:., 553.411.3 (571,5)

© 1996 г. Н.В. ХМЕЛЕВА, О.В. ВИНОГРАДОВА, Л.В. МАОРС

ВЛИЯНИЕ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ В ДОЛИНАХ СРЕДНИХ ПОРЯДКОВ

Длительное время основой теории формирования аллювиальных россыпей служили представления Ю.А. Билибина [1]. С их учетом разрабатывались методики поиска и разведки россыпей. Ю.А. Билибин исходил из представлений, что образование россыпей из частиц золота происходит в процессе их перемещения потоком. Однако механизм перемещения частиц рассмотрен им в общих чертах. Наряду с представлениями о транспортировке частиц золота в потоке многие исследователи придерживались мнения, что оно накапливается вблизи мест поступления из коренных источников. Такой подход, исключаяющий деятельность потока в транспортировке частиц металла в процессе образования россыпей, не позволяет понять и объяснить локальные особенности распределения металла в россыпях. Отсутствие теоретических представлений о закономерностях распределения металла понижает эффективность поисков и разведки россыпей.

В конце 60-х годов на Географическом факультете МГУ под руководством Н.И. Макавеева начало разрабатываться новое направление, получившее название метода генетического анализа строения россыпей. Теоретические основы метода разрабатываются с использованием результатов специально поставленных в лаборатории экспериментов [2], привлечением теории движения наносов и русловых процессов. Теоретической предпосылкой метода является представление о перемещаемости золота в составе наносов, транспортируемых потоком. Основное назначение метода генетического анализа – восстановление механизма формирования россыпей в различных гидродинамических условиях с целью выявления закономерностей распределения металла, определяющих структуру россыпи.

Первоначально метод разрабатывался применительно к россыпям долин низких порядков на примере россыпей хрустала на юге Урала, а позже – золотоносных россыпей Восточной Сибири. Эти россыпи сформированы водотоками I–III порядков, которые по классификации Р.С. Чалова [3] относятся к водотокам горного типа со свойственными им высокими скоростями течения, неустановившимся характером движения воды, высокой кинетичностью и турбулентностью потока. Для таких водотоков характерен простой тип русла – в основном однорукавный.

Комплексный подход при решении поставленных задач позволил выделить в строении россыпей долин низких порядков три генетические зоны россыпесодержащего аллювия: 1) привноса частиц полезного компонента из источников, 2) его транзита и 3) аккумуляции. В случае наличия источника в верховьях водотоков низких порядков зоны последовательно сменяют друг друга по длине водотока. Их выявление служит признаком, позволяющим судить о местоположении источника. С возрастанием порядка водотока накопление и транспорт золота зависит от типа руслового процесса и свойственного ему разнообразия гидродинамических условий, определяющих поведение частиц в потоке. Изменение этих

условий по длине и ширине в зависимости от уклонов продольного профиля, морфологии коренного ложа долины, состава наносов приводит к формированию определенных ассоциаций частиц золота, которые названы нами концентрациями [4]. В зависимости от механизма формирования концентраций они объединяются в комплексы, соответствующие выделенным зонам россыпсодержащего аллювия. Применительно к водотокам низких порядков разработана классификация концентраций и выявлены их диагностические признаки.

Применение метода генетического анализа при изучении россыпей базируется на использовании данных геолого-разведочной документации, несущей информацию о ряде параметров россыпи (содержании полезного компонента, его гранулометрическом составе, мощности пласта и т.д.). Анализ этих данных с одновременным выявлением гидродинамических условий, о которых можно судить по ряду признаков (морфологии коренного ложа, уклонам продольного профиля, положению участка относительно притока, типу русла и т.д.) позволяет определить механизм формирования той или иной концентрации металла. (Тип концентраций является показателем продуктивности участка.) Определяя объективно существующие связи в системе русловой поток – россыпь, можно подойти к решению очень важной при поиске и разведке россыпей задаче – прогнозу обогащенности и характера распределения металла на определенных участках долины.

Хотя в крупных россыпных районах россыпи долин средних порядков (IV–VI) по количеству уступают россыпям, сформированным в долинах низких порядков, по обогащенности и запасам металла они занимают первое место. Для таких россыпей выявление механизма формирования концентраций является очень важной задачей в связи с более сложным строением россыпей. Долины средних порядков относятся к полугорному типу. В отличие от более крупных судоходных рек, изучению руслового режима которых уделяется много внимания в связи с проблемами навигации, рассматриваемые водотоки в этом отношении слабо изучены. По сравнению с водотоками низких порядков они пережили более длительную историю формирования, имеют более выработанные продольные профили, меньшие скорости и более устойчивый характер течения. Большую роль в формировании аллювия и россыпей в таких долинах играет приточность. С одной стороны – притоки являются промежуточным звеном в системе коренной источник – россыпь, осуществляя перенос металла в основную долину, с другой стороны они обуславливают специфическую гидродинамическую обстановку на участках их впадения. Характерная особенность долин средних порядков – большое разнообразие типов русел, сменяющихся по длине (однорукавные, меандрирующие, многорукавные), а также резкие изменения гидродинамических условий формирования наносов и россыпей, как по длине, так и по ширине потока. Гранулометрический состав россыпей основных долин помимо зависимости от крупности частиц рудного золота, поступающего в водотоки из коренных источников, определяется своеобразным механизмом россыпеобразования в притоках. Вопрос о транспорте фракций разной крупности и их накоплении в процессе формирования россыпей удалось решить с помощью экспериментов, проведенных в Лаборатории экспериментальной геоморфологии МГУ. В задачу проведенных опытов входило установление доли каждой фракции и изменения их соотношения в россыпях водотоков низких и средних порядков. Опыты ставились на русловом лотке, в котором происходило формирование элементарной россыпи. Вместе с частицами полезного компонента в поток подавались частицы разного гранулометрического состава.

Установлено, что в процессе переноса потоком частиц, поступающих в него из денудированного источника, происходит их дифференциация по крупности. Частицы разных фракций перемещаются в потоке с разными скоростями, иными словами, за разное время они достигают нижерасположенных звеньев гидросети. В зависимости от их поведения в потоке можно выделить четыре типа частиц: 1. практически неподвижные (несколько мм), которые захораниваются вблизи источников; 2. слабо подвижные (1–3 мм); 3. подвижные, крупностью от 1,0 до 0,25 мм; 4. наиболее подвижные с диаметром менее 0,25 мм.

Скорость смещения частиц третьего типа на порядок больше по сравнению со вторым типом. Наибольшая подвижность характерна для частиц четвертого типа, которые, двигаясь вместе со взвешенными наносами, переносятся на значительные расстояния. Большое влияние на их транспорт оказывает шероховатость, создаваемая наносами, в результате чего значительная их часть накапливается в верхних горизонтах аллювия. Из этого следует, что частицы третьего и четвертого типов принадлежат к руслоформирующим фракциям и вместе с ними образуют аллювиальные формы русла. Данные экспериментов свидетельствуют, что в механизме формирования россыпей большую роль

играет состав наносов. Повышенная крупность аллювия способствует консервации почти всех фракций, особенно крупных. Последние остаются в россыпях долин низких порядков. Их доля в общем запасе металла постепенно уменьшается в процессе эволюции россыпи. В более однородном и мелком аллювии вынос частиц полезного компонента почти всех размерностей в долины средних порядков происходит значительно быстрее.

Анализ granulометрического состава россыпей долин трех крупных россыпных районов Восточной Сибири (Алданский, Куларский и Ленский) свидетельствует, что фракция размером 0,25–1,0 мм (реже до 2 мм) составляет от 60 до 80% в Куларском и Алданском районах и от 40 до 60% от общего количества металла в Ленском районе. Таким образом, закономерности распределения частиц такой размерности, которые, как было показано в эксперименте, транспортируются потоком, определяют структуру россыпи и обогащенность ее отдельных участков.

На транспортировку частиц золота в потоке большое влияние оказывает рельеф скального ложа (плотика), в зависимости от последнего происходит локальная дифференциация полезного компонента. В западинах коренного ложа происходит накопление золота преимущественно мелких фракций, на повышениях скального ложа запасы металла, как правило, падают и крупность его возрастает. Такая дифференциация связана с изменениями гидродинамических условий — снижением скоростей течения на участках западин. Если в водотоках низких порядков неровности ложа потока в значительной степени определяются структурно-литологическими особенностями прорезаемых пород, в которых поток создает небольшие по размерам скальные формы, то в водотоках средних порядков роль коренных пород незначительна, наряду со структурными элементами преобладающую роль в них играют аккумулятивные формы рельефа.

Влияние структурно-литологических особенностей в этом случае главным образом отражается на больших участках по длине водотоков в виде смены одного типа русла другим. Длина таких участков определяется размером прорезаемых потоком морфотектонических структур или воздействием гидродинамического фактора, чаще впадением крупных притоков.

Изучение исследованных погребенных россыпей с помощью метода генетического анализа позволило выявить их структуру и связь с типами русловых процессов, определяющих механизм концентрации металла в каждом из типов русел. Для каждого из них установлена связь концентраций металла с морфологическим комплексом свойственных им русловых форм.

На первом этапе составлялись схемы рельефа ложа, которые позволили судить о типах русла и их распространении по длине долины. Затем выделялись русловые формы более низкого ранга (впадины, острова, устья притоков и т.д.), позволяющие оценить локальные гидродинамические условия, следствием которых являлось формирование тех или иных концентраций металла. В долинах средних порядков выделяется три основных типа русел, обуславливающих при смене их по длине структурные особенности строения россыпей.

Прямолинейный или слабоизвилистый однорукавный тип русла свойствен участкам с относительно повышенными уклонами продольного профиля. В процессе транспорта наносов и сепарации частиц металла с более тяжелым удельным весом в сравнении с аллювиальными частицами формируются концентрации в форме стрежневой струи, приуроченные к врезанной в коренное ложе борозде, выработанной руслом. Здесь выделяется несколько модификаций концентраций, формирование которых связано с образованием в русле плесов и перекатов, более крупных размеров, чем в долинах низких порядков. В результате в пределах контура стрежневой струи наблюдаются участки с относительно повышенным или пониженным содержанием металла.

Извилистый тип русла чаще отмечается на участках среднего течения и на участках, где поток прорезает положительные структуры и формирует врезанные излучины. Комплексы концентраций, образующихся на таких участках, отражают скоростное поле потока: наиболее богатые концентрации приурочены к вогнутым берегам, более бедные формируются у выпуклых. В целом формирующиеся на таких участках концентрации повторяют в плане форму излучин и, в случае отступления последних, при подмыве берега может сформироваться серия металлоносных пластов, имеющих дугообразную форму.

Концентрации многорукавного русла формируются на участках с уменьшением скоростей течения и увеличением количества наносов. Для них характерна боковая миграция, сопровождаемая образованием серии рукавов, то отмирающих, то возникающих вновь, разделенных островами. Россыпи, формирующиеся в таких условиях, характеризуются сложным строением — на общем фоне незначительной металлоносности выделяются

небольшие по протяженности и различно ориентированные строжневые струи, фиксирующие положение отдельных рукавов. Обогащение россыпей происходит также на оголовках островов, в углублениях плотика. В результате распределение металла приобретает струйчато-гнездовой характер.

Описанные типы концентраций свойственны бесприточным участкам долин. При впадении крупных притоков в узлах их слияния с основной рекой создаются специфические гидродинамические условия, вызванные сложным сочетанием водного режима и стока наносов притока и основного водотока. В случае металлоносности притоков в узле слияния образуются участки россыпи с относительно повышенными запасами металла.

Проведенный анализ строения россыпей долин исследованных районов позволил дать классификацию разных типов концентраций, формирующихся на участках впадения притоков в зависимости от сочетания их порядков, гидродинамических параметров притоков и углов их подхода к основной долине [5]. Для каждого случая выявлены диагностические признаки концентраций. В случае погребенных россыпей, когда разведана основная долина, по диагностическим признакам можно судить о наличии или отсутствии россыпи в притоке и относительной степени ее богатства.

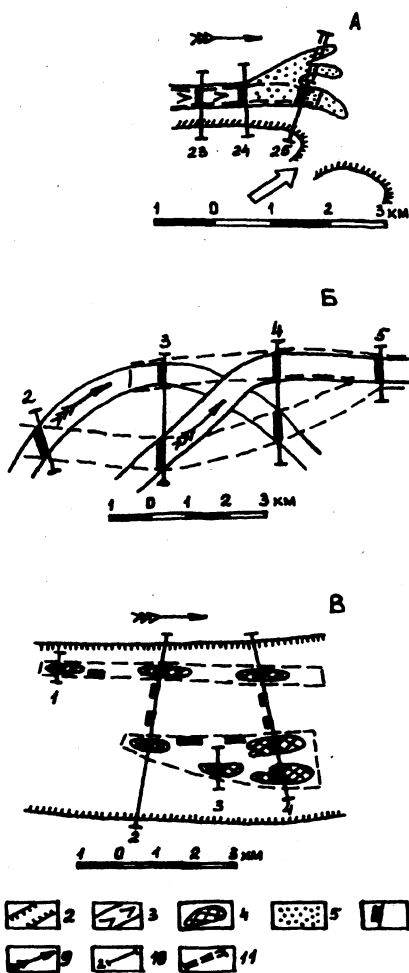
Генетический метод открывает большие возможности при решении практических вопросов, связанных с поисками и разведкой россыпей. Особенно перспективно использование генетического метода на погребенных россыпях, поиски и разведка которых в случае полного их захоронения под рыхлыми отложениями большой мощности ведутся практически вслепую. Учет закономерностей механизма транспорта и аккумуляции наносов, в том числе и полезного компонента позволяет прогнозировать вероятность формирования россыпи в долине, характер распределения металла по ее длине, ожидаемый тип концентраций на различных участках долин. На стадии разведки россыпи оперативно проведенный генетический анализ позволяет скорректировать направление и положение разведочных линий и рекомендовать более рациональную густоту разведки. Анализ позволяет более обоснованно провести блокировку запасов, исключив из контуров пустые нерентабельные для отработки участки долин, уменьшить ошибки при подсчете запасов металла. В силу того, что россыпи долин средних порядков образуются чаще в течение нескольких этапов формирования долины, непосредственному анализу строения россыпей погребенной гидросети должны предшествовать палеогеоморфологические реконструкции, включающие выделение террас, восстановление на них палеорусел разного типа и возраста. Только после этого возможно определение механизма формирования россыпей в разные эрозионно-аккумулятивные циклы.

Приведем несколько примеров, демонстрирующих возможности метода генетического анализа при проведении геолого-разведочных работ.

На рисунке, А представлен случай, когда в погребенной долине была выявлена концентрация в виде прямолинейной в плане узкой обогащенной струи. В результате анализа ниже по течению реконструировано устье погребенного притока. В таких условиях вследствие гидродинамического подпора, образуемого потоком, в основной долине формируется концентрация внутренней дельты, выраженная в виде нескольких веерообразно расходящихся обогащенных струй. По результатам генетического анализа было рекомендовано продлить разведочную линию 25 до борта долины с целью подсечения этих струй. Это позволит при заверке увеличить размер промышленного контура и получить прирост запасов.

Второй пример демонстрирует возможности генетического метода при оконтуривании блоков запасов (рисунок, Б). На одном из участков погребенной долины в результате палеогеоморфологического и генетического анализа было установлено, что металлоносные пласты, ранее объединенные в единый контур подсчета, приурочены к фрагментам двух разновозрастных излучин, гипсометрическое положение которых было практически одинаковым. Контурные этих излучин прослеживаются по геолого-разведочным профилям, показывающим наличие глубоких эрозионных борозд в пределах плоского коренного днища. На участке, расположенном между разведочными линиями 3-4, более молодая излучина прорезает более древнюю. При оконтуривании блока подсчета запасов без учета генезиса и возраста пласта контур был проведен по повышенным содержаниям металла, вскрытых скважинами, параллельно оси долины, как это часто делается в существующей практике.

Таким образом в каждый контур оказались включенными "пустые" (без металла) участки, составляющие до 50% от площади блока. По результатам анализа было проведено уточнение контуров, что позволило значительно снизить ошибки при подсчете запасов.



Уточнение контуров россыпей по результатам генетического анализа

А – расширение контура блока запасов на участке внутренней дельты перед впадением притока; Б – уточнение контура блока запасов на участке смещения излучин; В – уточнение границ шахтных полей на участке многорукавного русла. 1 – русло, 2 – границы долины, 3 – металлоносная струя, 4 – гнезда с повышенными содержаниями металла, 5 – аккумуляция металла, 6 – промышленные содержания металла, установленные при опробовании, 7 – контур блока запасов и границы шахтных полей, 8 – приток, 9 – направление течения, 10 – разведочные линии и их номера, 11 – рекомендуемые разведочные линии

Третий пример демонстрирует результаты применения генетического анализа на участке с многорукавным типом русла (рисунок, В). По разведочным работам на этом участке было выделено два промышленных контура, которые обрабатывались шахтами. Между контурами только отдельные скважины показали промышленные содержания металла.

Генетический анализ показал, что распределение металла вследствие формирования россыпи на многорукавном участке долины должно характеризоваться гнездово-струйчатым строением по всей ширине долины. Такой характер распределения был подтвержден данными эксплуатационного опробования по краевым бороздам шахт. О неравномерном, мозаичном характере распределения промышленных концентраций свидетельствовали и данные по отдельным скважинам за пределами контуров блоков запасов. Эти факты позволили прогнозировать достаточно высокую обогащенность всего участка и дать рекомендацию по объединению обоих блоков в единый контур, что и было подтверждено при проведении детальной разведки. В результате получен значительный прирост запасов металла.

Помимо получения прироста запасов и снижения ошибок при их подсчете генетический анализ позволяет за счет более точного оконтуривания блоков значительно сократить площади отработок, что в настоящее время является актуальным в связи с необходимостью сохранения естественных ландшафтов днищ долин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Билибин Ю.А. Основы геологии россыпей. М.; Л.: Изд-во ГОНТИ, 1938. 505 с.
2. Экспериментальная геоморфология // Вып. 3. М.: Изд-во МГУ, 1978. 140 с.
3. Чалов Р.С. Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
4. Хмелева Н.В., Виноградова О.В., Маорс Л.В. Генетические комплексы россыпесодержащего аллювия и их морфогенез // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 9. М.: Изд-во МГУ, 1983. С. 110–118.
5. Маорс Л.В. Структура речной сети и связанные с ней особенности строения россыпей тяжелых минералов // Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М.: Изд-во МГУ, 1993. 21 с.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
20.09.94

HYDRODYNAMIC CONTROL OVER THE MECHANISM OF ALLUVIAL PLACERS FORMATION IN THE MEDIUM ORDER VALLEYS

N.V. KHMELEVA, O.V. VINOGRADOVA, L.V. MAORS

S u m m a r y

Hydrodynamic conditions, type of river channel and erosional sculpture of bedrock control the mechanism of formation of genetic metal concentrations. Laboratory studies indicated different distance of transportation for metal particles different in size. The latter depends on the stream order and its hydrodynamic indices. The regularities revealed permit to increase the efficiency of prospecting.