

ГЕОМОРФОЛОГИЯ И НАРОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 551.4.014

Н. В. ХМЕЛЕВА, Л. Г. ИВОЧКИНА, О. А. ЕЛИСЕЕВА**О СВЯЗИ СТРОЕНИЯ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ
С ДЕНУДАЦИОННЫМ СРЕЗОМ
И ФОРМОЙ КОРЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ
(результаты экспериментальных исследований)**

Излагаются результаты поставленных в лаборатории на дождевальной установке опытов с целью изучения связи между строением россыпи, степенью среза и формой коренного источника, ее питавшего. На моделях коренные источники имели в одном из опытов форму штока, в другом — пластового тела. Выявлено, что запасы полезного компонента и его гранулометрический состав отражают связь между степенью денудационного среза и стадией развития россыпи.

Как известно, посредниками между россыпями полезных ископаемых и их коренными источниками служат агенты выветривания и транспорта обломков, поступающих от разрушения источников. Деятельность текучих вод и склоновые процессы в ходе денудации коренного источника способствуют переходу частиц полезного компонента в россыпь. В результате этого между россыпью и источником устанавливается определенная зависимость.

В настоящее время в связи с необходимостью расширения сырьевой базы особенно актуальными становятся поиски коренных источников россыпей. При разработке методики их прогноза не последнее место должен занять анализ закономерностей строения россыпей, базирующийся на представлениях о генетических связях между ними и коренными источниками. С точки зрения выявления последних и оценки их перспективности важно знать их местоположение и степень сохранности от процессов денудации.

Вопросу определения местоположения коренного источника на основе изучения строения россыпей в настоящее время уделяется много внимания. Суть исследований этого рода сводится к выявлению дальности переноса частиц полезного компонента в зависимости от их размера и веса, а также транспортирующей способности различных агентов, участвующих в перемещении частиц. Для этого проводятся специальные исследования отдельных индикаторов полезного компонента (его морфологии, гранулометрического и вещественного состава) по длине россыпи. Представления об их изменениях в зависимости от дальности переноса позволяют решать и обратную задачу, т. е. судить о местоположении источника.

Среди большого числа исследований такого рода особое место занимают исследования с целью разработки метода анализа строения россыпей по данным разведки. Исследования в этом плане в настоящее время ведутся двумя коллективами. В Институте геологии ЯФ СО АН

СССР под руководством Ю. Н. Трушкова (1975) разработана модель системы коренной источник — россыпь и сделана попытка выведения математической зависимости определения дальности сноса частиц полезного компонента от источника.

В работах, возглавляемых проф. Н. И. Маккавеевым, в МГУ обоснован метод анализа строения россыпей на базе представления о россыпесодержащих комплексах аллювия (Маккавеев и др., 1973, 1978). Диагностические признаки этих комплексов, обязанные деятельности потоков, выявленные на лабораторных моделях и натурных объектах, позволяют давать генетическую интерпретацию строения пролювиальных и аллювиальных россыпей и устанавливать таким образом участки их подпитки за счет разрушающихся источников.

Не менее важным является вопрос об изучении степени сохранности источника, питающего россыпь. Он в настоящее время в основном решается в региональном плане с точки зрения связи богатства россыпей с величиной денудационного среза в зависимости от тектонической активности территории. Вопрос о том, в какой мере можно использовать данные об особенностях строения отдельных аллювиальных россыпей для суждения о степени сохранности источников, их питающих, как нам представляется, менее ясен. Именно решению этих задач были посвящены поставленные нами опыты с целью выявления диагностических признаков в строении аллювиальной россыпи, отражающих величину денудационного среза и морфологические типы коренных источников.

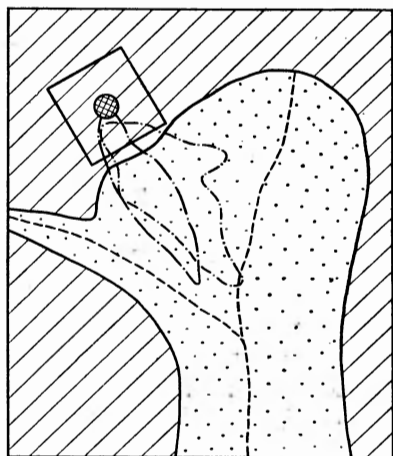


Рис. 1. Схема модели

Рельеф: 1 — склоны водосбора, 2 — долина, 3 — тальвег. **Источники:** 4 — шток, 5 — пластовое тело. **Контуры россыпи, сформированной спустя 1 час после начала опыта при размыве:** 6 — штока, 7 — пластового тела

Плато переходило в склон ложбины, ориентированной вдоль длинной оси площадки. Форма коренных источников в двух поставленных опытах была различной. В опыте 1 это был шток с диаметром сечения 4 см, а в опыте 2 источник имел форму пластового тела в виде квадрата со стороной 15 см. Источники в каждом из опытов располагались на одном и том же месте (рис. 1). Центры их поперечных сечений совпадали. Источники создавались из песчаной фракции ильменита, причем крупность частиц убывала сверху вниз по разрезу. Размер частиц ильменита верхнего горизонта источника 1—2, среднего 0,5—1,0, нижнего — менее 0,5 мм. Прослой ильменита чередовались с прослоями песка. Вес каждой фракции был одинаковым, так же как вес их в штоке и в пластовом теле. Кровля верхнего горизонта источника совпадала с поверхностью плато. Шток и пластовое тело имели одинаковую мощность, что достигалось варьированием мощностей слоев металла и разделяющих его прослоев пустой породы.

УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПОСТАНОВКИ ОПЫТОВ

Опыты ставились на площадке дождевальной установки размером 180×120 см. На ней из песчаного грунта моделировался участок приводораздельного плато с расположенным на нем коренным источником (рис. 1).

С момента начала дождевания на склонах водосбора возникал плоскостной сток, который в понижении образовывал ручей, в ходе опыта формировавший долину. Вымываемые из источника частицы ильменита сначала двигались по склонам, а затем попадали в поток, который транспортировал их до устья. В начале опыта частицы транспортировались от источника по склону под действием делювиального смыва, а затем источник начал разрушаться перемещающимся уступом склона долина. Обрушивающиеся с уступа блоки породы с частицами ильменита вновь подвергались деятельности делювиального смыва.

С целью установления механизма формирования россыпи в ходе каждого опыта наряду с замерами плановых и высотных параметров рельефа и определениями степени смыва источника извлекались пробы из поверхностных слоев склоновых и русловых отложений. Они брались через определенные расстояния по поперечным профилям подобно тому, как производится опробование россыпей. Результаты анализа содержания и запасов тяжелого компонента, выделенного из проб, позволили судить об изменениях в строении россыпи в зависимости от степени денудации источника.

Длительность каждого опыта равнялась 60 час. За это время источник целиком размывался. В зависимости от степени его денудации в ходе каждого опыта выделялись три этапа. В первом из них, продолжительностью 10—15 час, оказалось размывом 20% ильменита относительно первоначального содержания. В течение второго этапа, конец которого приходится на период 30—40 час от начала опыта, в источниках сохранялось не более 10% ильменита. К концу третьего этапа источники были полностью размывы, а отметки продольного профиля водотока понизились на величину, равную мощности источника.

В зависимости от формы источника в поток поступало неодинаковое количество частиц ильменита разных фракций. Так, к концу первого этапа из штока было вымыто 50%, а из пластового тела — 30% крупной фракции; средней — по 25% из каждого источника и мелкой — 10% из штока и 20% из пластового тела. К середине второго этапа оказалась срезанной большая часть штока, в то время как в пластовом теле 4/5 объема металла еще сохранялась и была денудирована из него во второй половине этапа. Таким образом, в начале опыта при размыве штока в россыпь поступало большое количество частиц крупной и средней фракции. Подпитка россыпи, формирующейся при размыве пластового тела, происходила в течение всего опыта за счет поступления из него частиц всех трех фракций. Однако за счет меньшей концентрации частиц в пластовом теле по сравнению со штоком в ходе опыта в русло частицы поступали менее интенсивно.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На модели формировались две россыпи: делювиальная и русловая. Первая из них прослеживалась по распространению частиц ильменита среди песчаного грунта ниже по склону от источника с самого начала опыта. Ширина этой россыпи при размыве штока постепенно увеличивалась и к концу второго этапа достигала величины, равной 7—8 диаметрам сечения источника. Ширина делювиальной россыпи при размыве пластового тела длительное время была постоянной. Она увеличилась к концу опыта только на одну треть относительно первоначальных плановых размеров пласта. Столь незначительное увеличение россыпи контролировалось особенностями размыва пластового тела. Так как в данном случае частицы поступают на склон небольшими порциями только с участков источника, затронутых эрозией, то они успевают стягиваться в микроложбины. Механизм транспорта частиц по склону рассмотрен нами в специальной статье, освещающей результаты опытов на более

крупных моделях, создававшихся на склоновой установке (Хмелева и др., 1973).

Особенности развития русловой россыпи на модели определялись соотношением между транспортирующей способностью потока и количеством поступающего в него по мере денудации коренного источника тяжелого компонента. В итоге в системе коренной источник — водоток, следствием деятельности которой явилась россыпь, в процессе выполаживания продольного профиля склона происходит уменьшение транспортирующей способности потока и накопление частиц полезного компонента, поступающих из источника. При формировании русловой россыпи также отчетливо проявилось влияние формы источника, выразившееся в различии количества полезного компонента, поступающего в поток по мере разрушения «рудных» тел.

Изменения в строении русловой россыпи по выделенным выше этапам в зависимости от степени денудации источников изучались путем анализа общепринятых показателей при исследовании природных россыпей: содержаний, гранулометрического состава и запасов полезного компонента. По ним в русловой россыпи в соответствии с представлениями о генетических россыпесодержащих комплексах аллювия (Маккавеев и др., 1978) выделено три участка, или зоны: привноса, транзита и аккумуляции. Каждая из них, как показали результаты наших предшествующих опытов и данные анализа природных россыпей, отражает особенности проявления русловых процессов и характеризуется определенным, свойственным каждой из них распределением частиц полезного компонента в плане и по вертикали разреза аллювия. Выделение по длине россыпи таких зон позволяет судить о местах подпитки ее металлом. Зона привноса имеет основное прогнозное значение.

Анализ карт содержаний металла, составленных на разные этапы формирования русловой россыпи, позволил проследить ее эволюцию в целом и по выделенным участкам в зависимости от формы источника и степени его размыва. Так, на первом этапе при размыве штока отмечено наиболее высокое содержание полезного компонента **в зоне привноса**, которое затем в ходе опыта уменьшается. При размыве пластового тела содержания полезного компонента в зоне привноса оказались меньшими, они достигают максимума к концу второго этапа, а к концу третьего этапа почти в 10 раз превышают содержания, отмеченные при размыве штока.

Для **зоны транзита** при размыве штока характерно смещение вниз по течению больших содержаний металла. Так, первый этап характеризуется максимумом содержания в верхней половине этой зоны, а к концу второго этапа он смещается в ее среднюю часть. При размыве пластового тела отмечается постепенное уменьшение содержания вниз по течению. К концу второго этапа содержание увеличивается по сравнению с первым, но и в этот момент его величина значительно меньше, чем в зоне привноса.

На приустьевом участке, **в зоне аккумуляции**, в течение всего опыта наблюдалась пестрая картина в распределении содержания, обусловленная, с одной стороны, аккумуляцией здесь металла в результате уменьшения транспортирующей способности потока, с другой — размывом ранее накопленных концентраций при миграции потока на этом участке русла. Интересно отметить, что форма источника не отражается на величине средних содержаний металла этого участка россыпи. Они в обоих опытах почти равны.

Обычно считают, что богатым россыпям тяжелых минералов водотоков низших порядков свойственна одновершинная кривая графика изменения линейных запасов по длине россыпи. Максимум их накопления в таком случае чаще всего располагается близко к голове россыпи и угол нарастания запасов круче, чем угол спада. Наличие в пределах

россыпи нескольких участков с повышенными запасами, дающими на кривой ряд пиков, обычно трактуется как следствие питания россыпи из нескольких источников. Однако экспериментально установлено (Хмелева, Ивочкина, 1978), что расположение максимума накопления по длине россыпи и его форма являются функцией ряда факторов: транспортирующей способности потока, размера и веса частиц и т. д. Что же касается связи формы этой кривой со степенью разрушения источника, то, согласно логической схеме Ю. Н. Трушкова (1975), она на первом этапе денудационного среза близка к гиперболе, которая при дальнейшем разрушении источника превращается в однопиковую кривую с постепенным удалением максимума накопления металла и уменьшением его величины вниз по течению.

Результаты поставленных нами опытов показывают, что форма кривых запасов, так же как и гранулометрического состава, может в известной мере служить показателем формы источника и степени его денудации, так как отражает соотношение между транспортирующей способностью потока и количеством металла, поступающего в него из размываемого источника. На рис. 2 даны графики изменения запасов металла по длине водотока в русловых россыпях, возникающих на модели при денудации штока (А) и пластового тела (Б). На них показана доля участия в запасах частиц разной крупности. Как следует из рис. 2, АI, в начальный момент денудации штока кривая запасов металла имеет форму, близкую к гиперболе. Ветви кривой изменения запасов мелкой и крупной фракции, открытые в голове россыпи в сторону источника, свидетельствуют об идущем поступлении металла из него. Максимум накопления крупной фракции расположен в верхней части россыпи, мелкой — смещен относительно него вниз по течению. К концу второго этапа (рис. 2, АII), когда транспортирующая способность потока была еще относительно большой, значительная часть металла, поступавшего в поток за счет размыва штока, была вынесена в приустьевую часть долины. В результате в составе запасов металла в верхней части россыпи оказались преобладающими частицы мелкой фракции, вымываемые из корней источника. Как и на первом этапе, верхние ветви кривых графика изменения по длине россыпи запасов отдельных фракций открыты в сторону источника. Кривая графика изменения запасов имеет несколько пиков, соответствующих участкам повышенного накопления металла, хотя подпитка россыпи происходила из одного источника. К концу третьего этапа (рис. 2, АIII) наблюдается резкое уменьшение запасов. К этому моменту кривая графика изменения запасов по длине россыпи преобразуется в линию с расположенным в голове россыпи максимумом накопления металла, который имеет асимметричную форму: угол нарастания больше угла спада. Максимум накопления полезного компонента на этой кривой, расположенный в голове россыпи, создан в основном за счет частиц крупной фракции; второй небольшой по величине максимум отмечается в приустьевом участке и представлен мелкой фракцией.

При размыве пластового тела на первом этапе (рис. 2, БI) кривая графика запасов металла имеет одновершинную форму. Максимумы накопления запасов, созданные крупной и мелкой фракциями, более сближены между собой, чем при размыве штока. К концу второго этапа (рис. 2, БII) запасы в россыпи превысили запасы, которые накопились в тот же момент в долине при размыве штока. Кривая графика запасов приобретает сложную форму с несколькими пиками накопления металла. Верхний из них располагается непосредственно у источника; средний, большой по величине, находится в средней части россыпи. В составе запасов металла велика роль частиц всех трех фракций. После полного размыва источника — третий этап (рис. 2, БIII) — кривая графика запасов сохраняет сложную форму, на которой выделяются два максимума.

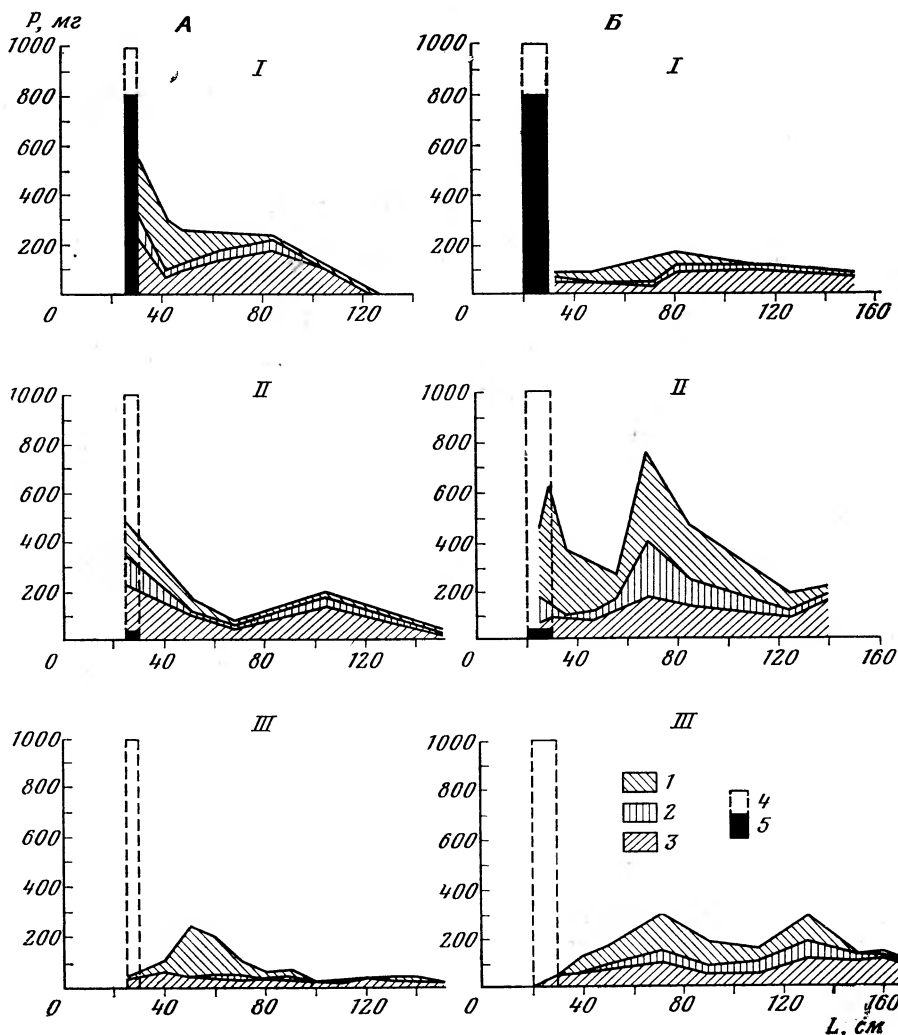


Рис. 2. График изменения запасов полезного компонента по длине россыпи и их распределение по фракциям

А — при размыве штока, Б — при размыве пластового тела. I, II, III — этапы формирования россыпей. L — расстояние от коренного источника, см; P — вес извлеченного из россыпи металла, мг. Фракции металла размером (мм): 1 — 2—1; 2 — 1—0,5; 3 — <0,5.

Источники: 4 — размываемая часть, 5 — сохранившаяся от денудации часть

В целом величина запасов металла в этом опыте уменьшилась к концу третьего этапа, но в тоже время она была в несколько раз больше, чем при размыве штока к этому моменту. Такая относительно невыработанная форма кривой графика запасов к моменту полного размыва пластового тела является следствием того, что поток не успел переработать той большой массы металла, которая поступила в него в течение второго этапа.

Различие в степени переработки потоком металла, поступившего из коренного источника в зависимости от его разрушенности и формы прослеживается также и на графиках изменения процентного содержания отдельных фракций полезного компонента по длине россыпи (рис. 3). Из анализа графика видно, что в начальный момент денудации штока (рис. 3, А1) максимум накопления крупной фракции отмечается в голове россыпи, откуда количество металла этой размерности постепенно

убывает вниз по течению. В распределении частиц мелкой фракции, наоборот, наблюдается постепенное увеличение ее процентного содержания от начала россыпи к ее нижнему концу. К концу второго этапа (рис. 3, *АII*) кривые преобразуются в относительно плавные линии с преобладанием в составе россыпи частиц мелкой фракции, выносимых из корней источника. После полного уничтожения источника (рис. 3, *АIII*) форма кривых изменяется, а в расположении максимумов накопления металла отмечена нормальная дифференциация частиц по крупности, т. е. чем меньше крупность полезного компонента, тем дальше вниз по течению смещен его максимум.

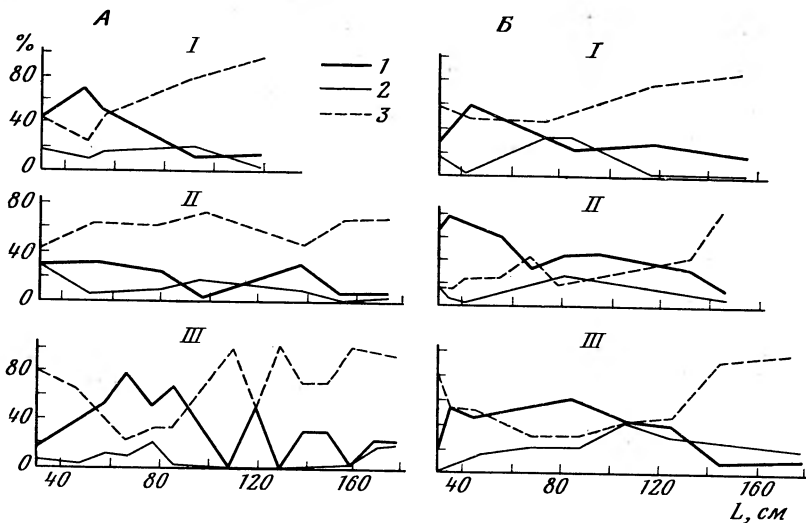


Рис. 3. График изменения гранулометрического состава полезного компонента по длине россыпи

А — при размыве штока, Б — при размыве пластового тела. I, II, III — этапы формирования россыпи. Фракции металла размером (мм): 1 — 2—1; 2 — 1—0,5; 3 — <0,5

При размыве пластового тела форма кривых рассматриваемого графика на первом этапе (рис. 3, *БI*) близка к полученной при размыве штока, но отмечается большой процент крупной фракции в нижней части россыпи. В дальнейшем, на втором и третьем этапах (рис. 3, *БII* и *БIII*) эти кривые мало показательны. Максимумы накопления отдельных фракций металла выражены слабо. К концу третьего этапа ветви кривой графика изменения мелкой фракции по длине россыпи открыты в сторону источника, что, по-видимому, следует считать признаком продолжающейся подпитки россыпи мелкой фракцией, вымываемой из делювиальной россыпи и из сохранившихся от размыва отдельных участков пластового тела.

ВЫВОДЫ

1. Степень денудационного среза коренного источника — относительный показатель времени формирования и стадии развития россыпи. Особенности строения последней отражают влияние временного фактора, а также взаимосвязь транспортирующей способности формирующего ее потока и количества и размера частиц полезного компонента, поступающего в россыпь в процессе денудации источника. Количество металла, поступающего в россыпь, кроме того, контролируется и формой источника.

2. К числу диагностических признаков в строении россыпи относится форма кривых изменения запасов металла по длине россыпи и гранулометрического состава его частиц.

гиперболическая форма кривой изменения запасов металла по длине россыпи и сглаженные формы кривых гранулометрического состава его частиц отражают слабый срез коренного источника и связь россыпи с ним. Показателем значительной денудации коренного источника или его маломощности (когда из него поступает в поток незначительное количество металла и поток успевает переработать его в соответствии с транспортирующей способностью) является форма кривой изменения запасов металла по длине россыпи, близкая к кривой нормального распределения, а положение максимума на этой кривой соответствует началу россыпи. На графике изменения гранулометрического состава металла по длине россыпи четко выраженные максимумы накопления отдельных фракций располагаются по протяжению россыпи тем ближе к коренному источнику, чем крупнее частицы металла. По-видимому, эти признаки надо считать показателями зрелой стадии развития россыпи, сформированной в течение длительного времени среза источника.

3. К переходным стадиям между начальной, отражающей срез верхов источника, и зрелой, соответствующей его размыву, относятся случаи, когда в процессе формирования россыпи не достигнуто соответствие между количеством поступающего из источника металла и транспортирующей способностью потока. Так, если в этап, предшествующий полному срезу источника, в поток поступает количество металла, превышающее его транспортирующую способность, кривые изменения запасов металла по длине россыпи и гранулометрического состава его частиц могут сохранять признаки, отражающие связь россыпи с коренным источником и после его разрушения.

Наличие на кривой изменения запасов металла нескольких максимумов, соответствующих повышенному накоплению металла на отдельных участках россыпи, может отражать одну из переходных стадий формирования россыпи в процессе перераспределения потоком частиц тяжелой фракции в случае поступления их из одного коренного источника.

4. На основании проведенных опытов можно предполагать, что при размыве пластового тела кривые исследованных параметров россыпи вследствие более неравномерного поступления в поток металла имеют в течение продолжительного времени невыработанную форму по сравнению со случаем формирования россыпей при размыве источника в форме штока.

5. Полученные результаты могут быть использованы при прогнозе сохранности источника на основе анализа строения россыпей по разведочным данным.

ЛИТЕРАТУРА

- Маккавеев Н. И., Хмелева Н. В., Калинин А. М. Анализ вещественного состава ложковых россыпей горного хрустала для прогноза их коренных источников. Поисковая геоморфология. В сб. «Вопросы географии», вып. 92, 1973.
- Маккавеев Н. И., Хмелева Н. В., Григорьев Н. П. Теоретические предпосылки выделения коренных источников россыпей по данным геологической документации. В кн. «Экспериментальная геоморфология», вып. 3. Изд-во МГУ, 1978.
- Трушков Ю. Н. Определение местоположения коренного источника и опыт его реконструкции. В кн. «Поиски и опыт реконструкции коренных источников золота по разведанным россыпям». Якутск, 1975.
- Хмелева Н. В., Ивочкина Л. Г. Движение обломков на склонах. В сб. «Эрозия почв и русловые процессы», вып. 3. Изд-во МГУ, 1973.
- Хмелева Н. В., Ивочкина Л. Г. Особенности транспорта частиц тяжелых минералов русловым потоком. В сб. «Экспериментальная геоморфология», вып. 3. Изд-во МГУ, 1978.

**ON THE CORRELATION OF ALLUVIAL PLACERS STRUCTURE
AND THE EROSIONAL CUT-OFF AND ORE BODY CONFIGURATION
(EXPERIMENTAL RESULTS)**

KHMELEVA N. V., IVOCHKINA L. G., ELISEEVA O. A.

Summary

Some results are given of laboratory experiments with rain simulator, aimed to tracing the correlation between the placer's structure and degree of erosion and the ore body configuration; the latter in some experiments was stock-like, in other — sill-like. Mineral amount in a placer as well as its granulometry appeared to manifest the relation between the degree of erosional cut-off and stages of the placer's evolution. The results obtained can be used for prediction of the ore body conservation on the basis of the placer's structure analysis.
