

ГЕОМОРФОЛОГИЯ И НАРОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 551.312.3 : 553.068.5

О. В. ВИНОГРАДОВА**ВЛИЯНИЕ РУСЛОВОГО ПРОЦЕССА НА СТРОЕНИЕ
АЛЛЮВИАЛЬНЫХ РОССЫПЕЙ**

В статье анализируется мощность металлоносного пласта и степень его выдержанности в зависимости от типов русел россыпесодержащих водотоков. Вводится коэффициент полноты разреза, показывающий степень заполнения аллювия полезным компонентом. Рассматривается влияние уклонов продольного профиля и крупности полезного компонента на параметры пласта. Анализируется распределение частиц полезного компонента в разрезе аллювия и ниже поверхности плотика в зависимости от типов русел, направленности эрозионно-аккумулятивной деятельности потока и морфологии плотика. Полученные результаты выявляют некоторые особенности механизма концентрации полезного компонента в разрезе аллювия, обусловленные деятельностью руслового потока.

Концентрация полезного компонента в вертикальном разрезе аллювия связана с гравитационно-диффузивным процессом, при котором происходит проникновение частиц с большим объемным весом вниз по разрезу, а также с процессом селективной эрозии, в соответствии с которым относительно легкие частицы вымываются потоком (Великанов, 1949; Нестеренко, 1977; Шило, Шумилов, 1976). При перемыке русловых отложений, происходящем в инстративную фазу развития долин, гравитационно-диффузивный процесс захватывает все более нижние по вертикали слои аллювия, в результате чего в приплотиковом горизонте образуется обогащенный металлом пласт. Многие исследователи связывают величину мощности этого пласта и особенности его выдержанности с порядками долин, в которых происходило формирование россыпи (Травин, 1970; Трушков и др., 1975). По мнению П. О. Генкина (1972), связь параметров пласта с порядками водотоков объясняется тем, что для водотоков низких порядков характерна инстративная фаза развития, а для более высоких — перстративная и констративная.

На наш взгляд, такой подход не вскрывает сущности процесса концентрации металла, частицы которого необходимо рассматривать как составную часть наносов, переносимых потоком и подчиняющихся общим закономерностям дифференциации аллювия, обусловленным механизмом руслового процесса. Цель проведенных исследований — установление некоторых закономерностей концентрации полезного компонента в вертикальном разрезе аллювия и распределения частиц полезного компонента в пределах металлоносного пласта в зависимости от особенностей руслового процесса, формировавшего россыпи.

Исследования проведены в одном из районов южной Якутии. Формирование россыпей в долинах здесь происходило при врезании водотоков, вызванном поднятием территории, т. е. россыпи образовались в инстра-

тивную фазу развития долин. Проанализировано около двух десятков водотоков трех соседних бассейнов рек, которые привязаны к одному базису эрозии. В зависимости от морфометрических показателей (уклона, площади бассейна), в соответствии с классификацией Р. С. Чалова (1968), водотоки были разделены на три группы.

Горные с неразвитыми русловыми формами — водотоки I—II порядков с уклонами, превышающими 0,07, с крайне незначительной вогнутостью продольного профиля (почти прямолинейной формы), небольшой длины (до 4,0 км), с малыми площадями водосборов (менее 5 км²), имеют узкие прямолинейные долины. Средний вес частиц полезного компонента, слагающего россыпь, более 1,0 мг.

К горным с развитыми русловыми формами относятся водотоки I—III порядков с менее крутыми уклонами (от 0,05 до 0,07) и более вогнутой формой продольного профиля. Длина их от 2,5 до 5,0 км, площади водосборов от 2 до 6 км². Долины в среднем более широкие; характерно чередование сужений и расширений в плане. Средний вес частиц, слагающих россыпь, более 1,0 мг.

К полугорным относятся водотоки III—IV порядков со средними уклонами 0,04 и некоторые водотоки II порядка со средними уклонами <0,05. Это наиболее крупные водотоки на территории исследований — длина их от 5,0 до 11,0 км, площади водосборов достигают 30 км². Русло меандрирует, отчетливо выражена четковидность дна долины. Для рельефа поверхности плотика характерно чередование западин и поднятий. Средний вес частиц полезного компонента менее 0,5 мг.

По всем россыпям, а затем и для россыпей каждого типа водотоков определялись средняя, максимальная и минимальная мощности металлоносного горизонта, а также коэффициент вариации мощности пласта по длине россыпи. Для характеристики россыпи мы ввели коэффициент полноты вертикального разреза, показывающий, какую часть от общей толщи аллювия занимает обогащенный металлом пласт.

$$K_n = \frac{H_{мп}}{H_{алл}},$$

где K_n — коэффициент полноты вертикального разреза; $H_{мп}$ — мощность металлоносного пласта; $H_{алл}$ — общая мощность аллювия.

Распределение частиц по крупности в пределах металлоносного пласта анализировалось по десяти россыпям района, для которых, по данным буровых скважин, имелись сведения о числе и весе частиц полезного компонента в каждом 0,25-метровом интервале глубины. В зависимости от их веса частицы подразделены на три класса: I — более 5 мг (средний поперечник $d > 1,2$ мм), II — от 1,0 до 5,0 ($d \sim 0,5—1,2$ мм) и III — менее 1,0 ($d < 0,5$ мм).

По скважинам, расположенным вдоль древнего тальвега, определялась средняя высота встречаемости частиц каждого класса крупности (расстояние от нижней до верхней границ распространения частиц). Прибортовые скважины из анализа исключались, так как картина распределения частиц в аллювии в них искажена за счет воздействия склоновых процессов. Расстояние вверх и вниз от поверхности плотика подразделялось на слои с интервалом 0,5 м. По каждому такому слою подсчитывалось количество частиц трех классов (по весу). Полученные данные служили для построения эпюр распределения частиц. Для каждого типа русла определялся средний интервал максимальной концентрации частиц I, II и III классов, т. е. тот слой, где количество данных частиц достигает наибольших значений.

Различия в динамике течения горных и полугорных водотоков определили различную форму движения наносов в русле (Маккавеев, 1955). Горные водотоки характеризуются большой турбулентностью потока, что определяет беспорядочное движение наносов в русле, их постоянное

Изменение характеристик пласта, содержащего полезный компонент, в зависимости от характера русла

Типы русла	Параметры водотоков					Характеристика пласта					
	порядок	уклон	длина, км	площадь бассей- на, км²	стрела прогиба продольного про- филя, км	мощность аллю- вия, м	мощность пласта, м			коэффициент ва- риации (C _v)	коэффициент пол- ноты (K _п)
							макси- мальная	минималь- ная	средняя		
I. Горные с не- развитыми русло- выми формами	I—II	0,08	2,5—4	1,5—5	0,18	4,0	1,8	0,3	0,7	0,8	0,18
II. Горные с раз- витыми русловы- ми формами	I—III	0,06	2,5—5,0	2—6	0,25	5,3	3,1	0,4	1,6	0,6	0,3
III. Полугорные	II—IV	0,04	5—11	20—30	0,44	6,2	7,3	0,9	3,5	0,5	0,6

«перетряхивание» и вибрацию и усиливает вертикальную дифференциацию осадков. Снижение турбулентности в водотоках полугорного типа, а также сложный рельеф плотика определяют меньшую дифференциацию осадков по вертикали разреза в россыпях водотоков этого типа. Эти различия сказались на характере металлоносного пласта и распределении тяжелых частиц по крупности в разрезе аллювия (табл. 1).

Мощность металлоносного пласта в водотоках горного типа с неразвитыми русловыми формами вдвое меньше, чем в водотоках с развитыми русловыми формами, а в полугорных мощность пласта возрастает в 2—5 раз в сравнении с горными, хотя мощность аллювиальных отложений увеличивается не так резко (от 4,0 до 6,0 м, т. е. в 1,3 раза).

Средние значения коэффициента полноты для водотоков первого типа составляют 0,18, несколько увеличиваются (до 0,3) в россыпях водотоков горного типа с развитыми русловыми формами и достигают больше половины разреза ($K_n=0,5—0,6$) в россыпях водотоков полугорного типа. Такое же закономерное увеличение при переходе от горных водотоков к полугорным прослеживается как для максимальной, так и минимальной мощности металлоносного горизонта.

Коэффициенты вариации мощности пласта по длине водотоков позволяют в какой-то мере судить о степени его выдержанности. Наибольший коэффициент вариации ($C_v=0,8$) характерен для россыпей водотоков горного типа, для которых строение россыпи имеет прерывистый характер, т. е. местами металлоносность почти не прослеживается. Наименьший коэффициент вариации характерен для россыпей в реках полугорного типа, хотя амплитуда колебаний мощности металлоносного пласта для них максимальна (около 7 м). Таким образом, мощность металлоносного пласта и выдержанность его по длине водотоков увеличивается при переходе от горных водотоков к полугорным. Характерно, что параллельно с этим степень концентрации металла в разрезе уменьшается.

Увеличение мощности пласта с возрастанием порядка водотоков, установленное Ю. А. Травиным (1970) и др., в районе исследований не прослеживается. Вместе с тем россыпи водотоков одного и того же порядка, но образованные в руслах разного типа, обладают резко отличными показателями. Так, одна из россыпей, сформированная водотоком III порядка с уклоном продольного профиля, 0,08, длиной около 2 км, имеет среднюю мощность металлоносного пласта 1,0 м, максимальную—1,5 м, коэффициент полноты 0,27. Россыпь водотока того же порядка, но с меньшими уклонами продольного профиля (0,04) характеризуется

следующими показателями пласта: средняя мощность 4,2 м, максимальная — 7,5 м, коэффициент полноты 0,6. Это объясняется тем, что порядок водотока является показателем, несущим в себе лишь косвенную информацию о режиме потока и типе русла.

Наибольшее влияние на мощность продуктивного пласта и полезного компонента в разрезе оказывает продольный уклон водотоков. Полученные зависимости (рис. 1) достаточно отчетливы (коэффициент корреляции 0,6, при S_r 0,23). С увеличением уклона убывает мощность пласта, но увеличивается концентрация полезного компонента.

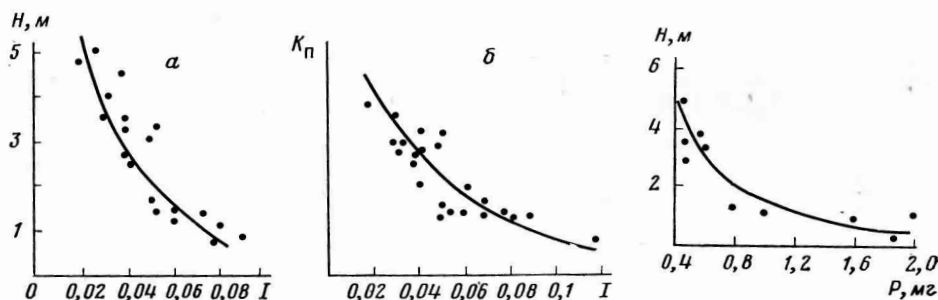


Рис. 1

Рис. 2

Рис. 1. Влияние продольного уклона водотоков на характер продуктивного пласта
 а — зависимость мощности металлоносного пласта (H) от уклонов водотоков (I); б —
 зависимость коэффициента полноты (K) от уклонов водотоков (I)

Рис. 2. Связь мощности пласта (H) и среднего веса частиц полезного компонента (P)

Результаты исследований в натуре подтверждаются экспериментальными данными, полученными Н. А. Шилов и Ю. В. Шумиловым (1976), согласно которым концентрация частиц прямо пропорциональна кинетичности потока, а последняя находится в прямой зависимости от уклонов продольных профилей.

Соотношение мощности металлоносного пласта и крупности частиц заключающегося в нем полезного компонента вполне закономерно. В россыпях горных водотоков с небольшой мощностью пласта средний вес частиц металла $>1,0$ мг. Россыпи водотоков полугорного типа с большей мощностью пласта содержат в основном более мелкие частицы (средний вес $<0,5$ мг) (рис. 2). Связь мощности пласта с крупностью частиц полезного компонента объясняется тем, что в горных водотоках благодаря их большей транспортирующей способности происходит вынос мелких частиц, о чем свидетельствует анализ вещественного состава россыпей — в россыпях горных водотоков процентное содержание крупных частиц в несколько раз больше, чем в россыпях полугорных водотоков (Виноградова, 1978). Тяжелые частицы, обладающие большей гидравлической крупностью, проникают на большую глубину по разрезу, чем мелкие, чему также способствует характер руслового процесса и беспорядочное движение наносов в русле водотоков горного типа. Полученные данные вполне подтверждаются результатами экспериментальных исследований, которые показали, что степень концентрации тяжелых частиц пропорциональна их гидравлической крупности (Шило, Шумилов, 1976).

В пределах металлоносного горизонта распределение частиц по крупности носит сложный характер и не всегда согласуется с традиционными представлениями об увеличении крупности частиц вниз по разрезу. Проведенный анализ распределения частиц разных классов крупности показал, что для всех водотоков, как для горных, так и для полугорных,

Распределение частиц полезного компонента разного веса по вертикальному разрезу аллювия в зависимости от особенностей русла

Тип русла	Классы частиц					
	I		II		III	
	интервал макс. концентрации, м	высота встречаемости относительно плотика, м	интервал макс. концентрации, м	высота встречаемости относительно плотика, м	интервал макс. концентрации, м	высота встречаемости относительно плотика, м
Горные с неразвитыми русловыми формами	0—0,5	0,5	0—0,5	0,5	0—0,5	1,0
Горные с развитыми русловыми формами	0—0,5	0,75	0—0,5	1,7	0,5—1,0	2,4
Полугорные	1,5—2,0	2,1	1,0—1,5	2,8	1,5—2,0	3,4

средняя высота встречаемости частиц относительно поверхности плотика снижается с увеличением их крупности, т. е. мелкие частицы рассеяны по разрезу аллювия на большую высоту относительно плотика, чем крупные (табл. 2).

В водотоках горного типа превышение высоты встречаемости мелких частиц над высотой встречаемости крупных в среднем составляет 1,7 м. В полугорных водотоках разница в высоте встречаемости тяжелых и легких частиц несколько меньше — 1,3 м, что подтверждает лучшую дифференциацию частиц по вертикали разреза в горных водотоках. В россыпях водотоков горного типа максимально обогащен металлом самый нижний приплотиковый горизонт (0—1,0 м над плотиком) — максимальное количество крупных частиц приходится на интервал 0—0,5 м, для мелких интервал с максимальным количеством частиц расположен на высоте 0—1,0 м относительно плотика. В общем в россыпях горных водотоков с возрастанием крупности частиц интервал с максимальным их количеством обычно смещается вниз по разрезу.

В россыпях водотоков полугорного типа наибольшим количеством частиц обладают интервалы, расположенные относительно поверхности плотика выше, чем в горных, в среднем на высоте 1,0—2,0 м. Характерно сложное распределение частиц по разрезу — кривые распределения могут иметь несколько максимумов. Сложный характер распределения частиц объясняется, возможно, неодновременным вскрытием коренных источников, неодинаковой интенсивностью поступления частиц металла с верхних участков системы и относительно слабой дифференциацией частиц в аллювии полугорных водотоков, связанной с особенностями их руслового процесса.

Проникновение частиц в плотик происходит в среднем на глубину 1,5—2,0 м, причем для россыпей полугорных водотоков характерно проникновение только мелких частиц (II и III классы), в то время как в горных водотоках в плотик проникают как мелкие, так и крупные частицы. Ниже поверхности плотика количество всех частиц снижается с увеличением глубины (табл. 3).

Особенности концентрации полезного компонента в разрезе аллювия в зависимости от направленности эрозионно-аккумулятивной деятельности водотоков изучалось на примере нескольких участков долин полугорного типа. Был применен генетический метод анализа россыпей, предложенный Н. И. Маккавеевым (1969). Согласно этому методу, выделяются три основных генетических комплекса аллювия, особенности формирования которых обуславливают также строение россыпей. Наши исследования показали, что мощность пласта и характер распределения

Распределение количества частиц полезного компонента ниже верхней границы плотика (по 0,5 м интервалам)

Классы частиц		I		II		III			
Расстояние ниже поверхности плотика, м		0—0,5	0—0,5	0,5—1,0	0—0,5	0,5—1,0	1,0—1,5	1,5—2,0	
Количество частиц полезного компонента	Горные водотоки	2	4	—	26	—	—	—	
	Полугорные водотоки	—	3	1	25	13	7	1	

частиц в разрезе меняются в зависимости от этих генетических комплексов (зон).

Зона привноса (Маккавеев, 1969) характеризует участок россыпи, где полезные компоненты поступают в аллювий со склонов или за счет выноса притоков. Здесь происходит увеличение крупности металла, меняется его пробность, несколько ниже места его поступления возрастает обогащенность россыпи. Распределение металла по крупности в вертикальном разрезе аллювия носит сложный характер и определяется в основном временем и порядком поступления частиц в поток — процесс дифференциации полезного компонента в разрезе не выражен. Результаты проведенного анализа концентрации частиц показали, что ниже по

Таблица 4

Изменение мощности металлоносного пласта в западинах и на повышениях плотика

Формы рельефа плотика	Средняя мощность пласта, м	Коэффициент полноты
Западины	7,2	0,8
Повышения дна	2,8	0,4

течению от места поступления металла в долину возможно образование в верхах разреза небольшого прослоя металлоносного аллювия, оторванного от основного пласта, наличие которого связано с перемывом наносов в месте поступления металла.

На участках привноса металла притоками мощность продуктивного пласта может увеличиваться, если поступление частиц металла из при-

тока происходило позже формирования россыпи в основной долине. Иногда возможно даже образование двухъярусного пласта, если существовал разрыв во времени между образованиями пласта основной россыпи и выносом металла притоком. В более высоких относительно плотика горизонтах может увеличиваться количество как мелких, так и крупных частиц (рис. 3, а), кривые распределения по вертикали характеризуются многопиковостью.

Зона транзита — часть россыпи, где в основном преобладает перенос частиц полезного компонента. Характерно струйчатое строение россыпи — наиболее обогащенные струи проходят над тальвегами. Обогащенность россыпи и крупность частиц в целом постепенно убывают вниз по течению, но этот процесс осложнен местными факторами, влияющими на особенности руслового процесса. К их числу относятся изменения уклонов продольного профиля по длине водотока и наличие западин в коренном ложе. В зоне транзита величина мощности металлоносного горизонта варьирует от разреза к разрезу. На участках с повышенными уклонами продольного профиля она минимальна, на пологих участках образуются как бы «раздувы» пласта. Такая же закономерность установлена А. В. Хрипковым (1958) для аллювиальных россыпей Северо-Востока СССР. Влияние рельефа плотика на концентрацию металла особенно ярко проявляется в россыпях полугорных водотоков, для которых характерно наличие больших западин. Длина и глубина западин

пропорциональна величине водотоков, что позволяет предположить связь их образования с деятельностью руслового процесса (Хмелева и др., 1976). До настоящего времени влияние таких неровностей дна на концентрацию полезного компонента в россыпях практически не было оценено. Проведенный анализ мощности металлоносного пласта и распределения частиц по крупности показал, что на повышениях плотика мощность металлоносного горизонта и коэффициент полноты в 2—3 раза меньше по сравнению с участками западин (табл. 4).

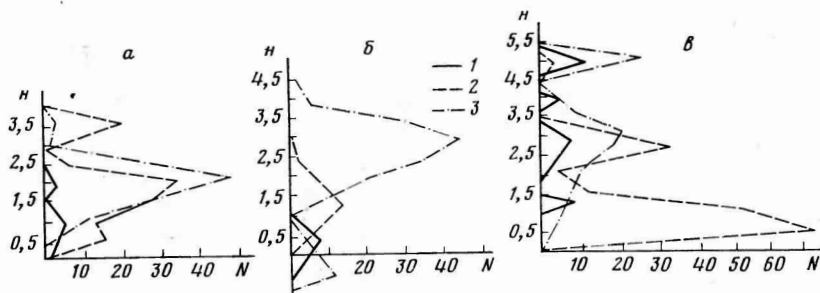


Рис. 3. Распределение частиц разного веса в вертикальном разрезе аллювия по генетическим зонам

H — высота над плотиком, N — количество частиц. Зоны: а — привноса, б — транзита, в — аккумуляции. 1 — частицы I класса, 2 — частицы II класса, 3 — частицы III класса

Распределение частиц по крупности на участках повышения и в западинах также различно. На повышениях плотика в условиях больших скоростей течения и повышения кинетичности потока (Маккавеев, 1955), обеспечивающих лучшую дифференциацию наносов в вертикальном разрезе аллювия, распределение носит «нормальный характер» — наибольшее количество крупных частиц приурочено к нижнему приплотиковому горизонту, мелкие частицы могут достигать максимального количества как в нижних, так и в верхних горизонтах (рис. 3, б).

В западинах плотика такая закономерность может нарушаться. Анализ изменения среднего веса частиц в зависимости от расстояния над поверхностью плотика показал, что в западинах происходит увеличение среднего веса частиц к верхним горизонтам разреза, что противоречит общепринятым представлениям. Возможно, в исследуемых водотоках более крупные частицы поступали в россыпи на поздних этапах их формирования и в понижениях плотика происходило их последовательное захоронение (Виноградова, 1978).

Зона аккумуляции соответствует той части россыпи, где происходит резкое замедление скоростей течения, связанное с уменьшением уклонов продольного профиля. Зона аккумуляции характеризуется общим увеличением обогащенности россыпи, обусловленным возрастанием мощности пласта. Пласт может иметь сложное строение — по вертикали разреза происходит чередование пропластков обогащенного металлом аллювия с неметаллоносными. Распределение частиц по крупности носит беспорядочный характер, дифференциация полезного компонента в вертикальном разрезе слабая (рис. 3, в).

Таким образом, изменение мощности пласта и степени концентрации полезного компонента и распределение частиц в вертикальном разрезе аллювия зависят от направленности эрозионно-аккумулятивной деятельности водотока на том или ином участке долины, а также от рельефа плотика. В зоне транзита на участках повышения скального ложа создаются благоприятные условия для концентрации металла в разрезе

аллювия, распределение частиц по вертикали носит «нормальный характер». Для участков западин и в зонах аккумуляции, где преобладает аккумулятивная сторона деятельности потока, процесс концентрации полезных компонентов выражен слабо, распределение частиц по разрезу нередко носит «инверсионный» характер.

ВЫВОДЫ

1. Степень концентрации полезного компонента, мощность пласта и его выдержанность по длине россыпи во многом определяются типом русла водотока, формирующего россыпь. В горных водотоках с неразвитыми русловыми формами частицы металла крупнее, но мощность пласта гораздо меньше, чем в горных с развитыми русловыми формами и особенно в водотоках полугорного типа. Мощность металлоносного пласта в водотоках горного типа сильно варьирует.

2. Заметное влияние на морфометрические показатели пласта оказывает уклон продольного профиля; с увеличением последнего мощность пласта обычно убывает.

3. Мощность пласта связана обратной зависимостью с крупностью частиц, слагающих россыпь, — россыпи, сложенные более крупными частицами, характеризуются меньшей мощностью пласта.

4. Мелкие частицы металла рассеяны в аллювии на большую высоту относительно поверхности плотика, чем крупные.

5. В зонах привноса, транзита и аккумуляции распределение частиц металла по высоте разреза и по длине водотока различное. В зоне привноса эпюра распределения частиц по глубине нередко имеет несколько пиков. В зоне транзита наблюдается преобладание крупных частиц полезного компонента в приплотиковой части разреза и общее постепенное уменьшение крупности частиц вниз по течению. В зоне аккумуляции эпюра распределения частиц металла по глубине снова становится многопиковой, причем нередко наблюдается увеличение концентрации частиц в верхней части разреза.

6. Рельеф плотика отчетливо сказывается на местных особенностях строения россыпей. В местах повышения плотика убывает мощность металлоносного пласта, но возрастает концентрация полезного компонента. На участках депрессий мощность пласта возрастает и концентрация убывает. При этом в западинах нередко наблюдается «инверсия» в распределении частиц металла по вертикали: крупность и концентрация частиц вверх по разрезу возрастают.

ЛИТЕРАТУРА

- Великанов М. А. Динамика русловых потоков. Л., Гидрометеиздат, 1949.
- Виноградова О. В. Особенности распределения полезного компонента в россыпях водотоков низких порядков в зависимости от типа русел. «Геоморфология», № 3, 1978.
- Генкин П. О. Особенности строения и формирования россыпей на Северо-Востоке СССР. «Колыма», № 2, 1972.
- Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Маккавеев Н. И. Экспериментальная геоморфология, вып. 2. Изд-во МГУ, 1969.
- Нестеренко Г. В. Происхождение россыпных месторождений. М., «Наука», 1977.
- Травин Ю. А. Сравнительные особенности морфологии продуктивного горизонта золотых россыпей, локализованных в долинах различных порядков. В кн. «Проблемы геологии россыпей». Магадан, Отдел научно-технической информации Северо-Восточного комплексного ин-та, 1970.
- Трушков Ю. Н., Избеков Э. Д., Томская А. И., Тимофеев В. И. Золотоносность Вилюйской синеклизы и ее обрамления. Новосибирск, «Наука», 1975.
- Хмелева Н. В., Виноградова О. В., Григорьев Н. П. О влиянии неровностей ложа плотика на формирование аллювия и россыпей водотоков низких порядков. В сб. «Закономерности проявления эрозионных и русловых процессов в различных природных условиях». Изд-во МГУ, ротапринт, 1976.

Чалов Р. С. Некоторые особенности руслового режима горных рек. «Метеорология и гидрология», № 4, 1968.

Шило Н. А., Шумилов Ю. В. Механизм поведения золота в процессе формирования россыпей. В сб. «Минеральные месторождения». М., «Наука», 1976.

Московский государственный
университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
24.V.1979

CHANNEL PROCESS IMPACT ON ALLUVIAL PLACERS STRUCTURE

O. V. VINOGRADOVA

Summary

Useful component concentration is mostly controlled by the channel type of the placer-forming stream. The placers are thin and less steady in mountain streams and more thick and steady in semi-mountain rivers. The layer's thickness essentially depends on the stream slope as well as on the mineral particles size.

The layer's parameters and the mineral's distribution in the alluvium change along with the erosion-sedimentation activity of the stream. The bedrock surface morphology also controls placer's structure and mineral particles distribution.
