

ГЕОМОРФОЛОГИЯ И НАРОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 550.81 : 553.068.5 (571.651—98)

В. В. КРАСКОВ, В. В. ЛОБАНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ
ФАКТОРОВ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭНДОТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТА
В РОССЫПЯХ ЧАУН-ЧУКОТКИ

С помощью методов математической статистики выявлена зависимость концентрации, крупности и пробности золота в аллювиальных россыпных месторождениях от морфометрических показателей сети линейных флювиальных форм. Оценены достоверность и надежность анализируемых связей.

Концентрация золота в россыпях зависит от особенностей взаимодействия геоморфологических и металлогенических факторов. Считается, что металлогеническую обстановку на территории золотоносного узла представляют пробность, крупность и показатель сортировки (Скрябин, 1966; Самусиков, 1970), а геоморфологическую — морфометрические параметры долин (Девдариани, 1966; Орлянкин, 1970). Этим не исчерпываются факторы, участвующие в образовании россыпей, но число их ограничивается возможностями анализа.

В пределах Чаун-Чукотки выделяют два типа коренных источников золота — эндотермальные и субвулканические. Поскольку россыпи золота последнего типа распространены крайне незначительно, мы рассмотрим лишь россыпи, образовавшиеся из эндотермальных коренных источников.

Распределения показателей пробности, крупности и сортировки этого золота в общем соответствуют логнормальному закону. В россыпях Чаун-Чукотки преобладает мелкое золото. По данным анализов, проведенных при разведочных работах, в подавляющем числе случаев медианные размеры зерен колеблются в пределах от 0,3 до 1,5 мм, при показателях сортировки от 1,2 до 2,3 мм. Средний медианный размер золотинок для Чаун-Чукотки составляет 0,67 мм, а показатель сортировки — 1,67 мм. Значения пробности золота варьируют от 830 до 930, средняя медианная пробность составляет 873.

Все известные здесь аллювиальные россыпи приурочены к долинам 2—6 порядков (по Р. Хортону), уклоны в которых изменяются в пределах 0,002—0,100. Как известно, порядок долин и уклоны рек связаны через систему эрозионных и климатических коэффициентов, подобно тому как связаны уклоны с площадями водосборов и расходами воды (Маккавеев, 1955; Девдариани, 1966; Орлянкин, 1970):

$$I = \frac{A}{e} a N, \quad (1)$$

где N — порядок долины; I — продольный уклон долины, м/км; A , a — эмпирические коэффициенты; e — основание натуральных логарифмов.

Для Чаун-Чукотки между порядками золотоносных долин и их уклонами прослеживается обратная зависимость (табл. 1).

Методом наименьших квадратов рассчитаны значения эмпирических коэффициентов: $A=80$, $a=46$.

Нарушение равенства (1) в сторону увеличения уклонов ($I > 80e^{-0,46N}$) свидетельствует о возрастании роли деструкции, повышении энергии рельефа относительно оптимальной для россыпеобразования. И наоборот, нарушение равенства в сторону уменьшения уклонов ($I < 80e^{-0,46N}$) является показателем понижения энергии рельефа, т. е. установления режима аккумуляции (Кашменская, Хворостова, 1965).

Совокупность уклонов и порядков долин, с одной стороны, и особенности первичных выделений золота — с другой вносят при образовании россыпи свой «пай» в наблюдаемую картину распределения показателей концентрации. Сравнительные величины «паев» изучаемых факторов или их комбинаций в позитивном и негативном плане можно определить решением и минимизацией системы уравнений, составленных по схеме

Т а б л и ц а 1

Порядки долин	2	3	4	5
Средний уклон, м/км	28	19	12	6,8
Количество случаев	3	10	24	6

$$\bar{x}_{ijk} = \mu + \alpha_{i..} + \alpha_{.j.} + \alpha_{..k} + \alpha_{ij.} + \alpha_{i.k} + \alpha_{.jk} + \alpha_{ijk} + \varepsilon,$$

где μ — фон показателя концентрации золота в долинах золотоносных узлов; α — «пай», привносимые в показатель концентрации градациями факторов и их взаимодействиями; i, j, k — обозначения факторов; ε — случайная компонента (Крамбейн, Грейбилл, 1969).

Ввиду ограниченности количества случаев и для упрощения расчетов в вышеуказанной схеме предусматривается три фактора с двумя альтернативными градациями в каждом. В этом случае для определения знаков величины «паев» принято:

$$\alpha_{i..} = \alpha_{I.}(-1)^{r(i)}; \alpha_{ij.} = \alpha_{II.}(-1)^{r(i)+r(j)}; \alpha_{.jk} = \alpha_{III.}(-1)^{r(j)+r(k)} \text{ и т. д.,}$$

где $\alpha_{I.}$, $\alpha_{II.}$ и т. д. — численные выражения «пая»; $r(i)$, $r(j)$, $r(k)$ — условные значения градаций факторов, равные каждый 1 или 2 (Вистелиус, Романова, Фаас, 1968).

В соответствии с принятой схемой условимся считать, что на Чаун-Чукотке крупное золото имеет поперечники частиц больше 0,7 мм, а мелкое — меньше 0,7 мм. Плохо сортированное золото характеризуется показателем сортировки выше 1,7, хорошо сортированное — ниже 1,7, высокопробное золото характеризуется показателем более 870, низкопробное — менее 870. О двух градациях геоморфологического фактора было сказано выше. В качестве показателя концентрации принято отношение ширины промышленного контура россыпи к ширине непромышленного «весового» с вертикальным запасом не менее 0,1 г/м².

Обозначив далее совокупность порядков и уклонов долин i , пробность — j , крупность — k , составим таблицу распределений показателей концентрации по градациям этих факторов (табл. 2).

Расчет случайной и факторной дисперсий показал $D_z=0,752$ и $D_x=0,399$ соответственно при 31 и 7 степенях свободы. Это определяет статистику $F=2,35$, что при применении критерия Фишера соответствует уровню значимости равенства случайной и факторной дисперсий — 5%. Такой уровень свидетельствует о реальности факторной дисперсии, так как игнорирование ее ухудшает модель — гипотеза равен-

Пробность	Крупность	Высокая энергия рельефа $r(i) = 1$	Низкая энергия рельефа $r(i) = 2$
Высокая $r(i) = 1$	Крупное	$n = 10$ $\bar{x}_{111} = 0,410$ $S^2 = 0,0290$	$n = 4$ $\bar{x}_{211} = 0,314$ $S^2 = 0,0301$
	$r(k) = 1$		
	Мелкое	$n = 4$ $\bar{x}_{112} = 0,317$ $S^2 = 0,0020$	$n = 5$ $\bar{x}_{212} = 0,369$ $S^2 = 0,0201$
	$r(k) = 2$		
Низкая $r(i) = 2$	Крупное	$n = 5$ $\bar{x}_{121} = 0,582$ $S^2 = 0,0278$	$n = 4$ $\bar{x}_{221} = 0,272$ $S^2 = 0,0463$
	$r(k) = 1$		
	Мелкое	$n = 3$ $\bar{x}_{122} = 0,408$ $S^2 = 0,0094$	$n = 4$ $\bar{x}_{222} = 0,216$ $S^2 = 0,0057$
	$r(k) = 2$		

Примечание. n — число «рандомизированных», т. е. выбранных произвольно, блоков в клетках таблицы (при этом «жеребьевка» проводилась по трем наблюдениям в блоке); $\bar{x}$ — среднее арифметическое; S^2 — несмещенная оценка дисперсии.

ства дисперсий по клеткам данной таблицы принимается с более высоким уровнем значимости — 25%. Последнее следует из расчета статистики критерия Бартлетта $M=8,6$ при 8 степенях свободы (Большев, Смирнов, 1965).

При систематической проверке гипотез по методике, подробно изложенной А. Б. Вистелиусом, М. А. Романовой, А. В. Фаасом (1968), находим выражение, удовлетворительно описывающее распределение концентраций золота в табл. 2 минимальным количеством параметров:

$$\bar{x}_{ijk} = 0,348 - 0,056(-1)^{r(i)} - 0,075(-1)^{r(i)+r(j)} - 0,040 \cdot (-1)^{r(i)+r(k)} + N(0,0; 0,024),$$

где $r(i)$, $r(j)$, $r(k)$ равны 1 или 2 согласно принятым обозначениям в табл. 2; N — знак нормального распределения с математическим ожиданием и дисперсией, указанными в скобках. Применение полученного выражения дает $F=0,66$ при 31 и 4 степенях свободы, что соответствует уровню значимости равенства дисперсий общей и частной моделей между 50 и 70%, намного превышающему принятый 25%-ный уровень. Это позволяет считать реальными параметры, входящие лишь в данную модель.

Введя вместо крупности золота показатель сортировки l и оставив за остальными факторами ту же индексировку, получим новое распределение показателей концентрации, которое приведено в табл. 3.

Полученное распределение для анализа не совсем корректно ввиду наличия в двух клетках лишь по одному блоку наблюдений, что уменьшает количество степеней свободы при проверке гипотезы равенства дисперсий по клеткам с 8 до 6. Получены следующие статистики: $D_z=0,440$, $D_x=0,680$, $F=4,42$ при 20 и 7 степенях свободы (уровень значимости около 5%), $M=3,47$ (уровень значимости до 70%). Картина распределений оптимально описывается выражением

$$x_{ijk} = 0,340 - 0,088(-1)^{r(i)} - 0,071(-1)^{r(i)+r(j)} + 0,031 \cdot (-1)^{r(i)+r(j)+r(k)} + N(0,0; 0,02),$$

что дает $F=0,55$ при 4 и 20 степенях свободы и соответствует уровню значимости 50—70%.

Таблица 3

Пробность	Сортировка	Высокая энергия рельефа $r(i) = 1$	Низкая энергия рельефа $r(i) = 2$
Высокая	Плохая	$n = 1$ $\bar{x}_{111} = 0,186$ $S^2 = ?$	$n = 4$ $\bar{x}_{211} = 0,355$ $S^2 = 0,0306$
	$r(i) = 1$		
	Хорошая	$n = 4$ $\bar{x}_{112} = 0,437$ $S^2 = 0,0063$	$n = 7$ $\bar{x}_{212} = 0,304$ $S^2 = 0,0315$
	$r(i) = 2$		
Низкая	Плохая	$n = 4$ $\bar{x}_{121} = 0,500$ $S^2 = 0,0228$	$n = 1$ $\bar{x}_{221} = 0,108$ $S^2 = ?$
	$r(i) = 1$		
	Хорошая	$n = 3$ $\bar{x}_{122} = 0,455$ $S^2 = 0,0199$	$n = 4$ $\bar{x}_{222} = 0,168$ $S^2 = 0,0081$
	$r(i) = 2$		

Примечание: Обозначения см. в табл. 2.

Таким образом, из проведенного анализа следует, что распределение показателя концентрации золота в россыпях контролируется общим фоном золотоносности, обеспеченного, очевидно, наличием вскрытых коренных источников золота и далее в первую очередь сочетаниями порядков и уклонов долин. Позитивное и негативное их проявление может быть нивелировано или усилено величиной эрозийного среза коренных источников, который определяется по пробности золота. Крупность и сортировка золота в россыпях самостоятельного влияния на величину его концентрации не имеют. Они незначительно проявляются лишь в сочетаниях с морфометрическими параметрами и с пробностью.

Учитывая доказанное выше повсеместное участие в параметрах полученных выражений совокупности порядков и уклонов долин, исследуем ее отдельно в более дробных градациях и с привлечением других показателей концентрации. В качестве основной варьирующей величины фигурируют отношения I_k — фактического уклона долины, содержащей аллювиальную промышленную россыпь, к оптимальному для данного порядка теоретическому уклону, рассчитанному по формуле (1) $I_0 = 80e^{-0,46N}$. Для золотоносных долин Чаун-Чукотки эти отношения варьируют от 0,6 до 1,8. Так как их распределение по числу долин хорошо согласуется с логнормальным законом, величины интервалов отношений установлены не равными, а увеличивающимися в геометрической прогрессии. Имеющийся фактический материал позволил выделить семь групп случаев из расчета, чтобы в каждой группе находилось не менее двух случайно выбранных «рандомизированных» блоков по 10 наблюдений в каждом.

В качестве дополнительных показателей концентрации рассмотрены вероятности встречи в пределах промышленных контуров значений вертикальных запасов выше 5 и 20 г/м². Результаты первичной статистической обработки наблюдений сведены в табл. 4.

Из таблицы видно, что совокупность порядков и уклонов долин контролирует распределение не всех видов концентрации. Низкие содержания в промышленных контурах ведут себя независимо от ее градаций (данные в восьмой строке таблицы наглядны и без статистических расчетов). Высокие же концентрации полностью контролируются ими, что наглядно выступает в пятой строке и доказывается значениями статистических критериев Фишера, Бартлетта — $F=4,87$ при

Таблица 4

Показатели концентрации	Интервалы отношений I_1/I_0						
	>1,7	<1,7	<1,42	<1,20	<1,0	<0,8	<0,7
Отношение промышленного контура к непромышленному	3 0,344 0,011	2 0,366 0,041	5 0,430 0,012	10 0,438 0,007	6 0,338 0,004	5 0,332 0,006	5 0,248 0,015 $\frac{n}{\bar{x}}$ S^2
Вероятность встречи вертикальных запасов >20 г/м ²	3 0,100 0,010	4 0,370 0,011	2 0,450 0,005	10 0,440 0,014	5 0,260 0,023	5 0,300 0,005	2 0,250 0,005 $\frac{n}{\bar{x}}$ S^2
Вероятность встречи вертикальных запасов >5 г/м ²	3 0,70 0,070	4 0,90 0,007	2 0,75 0,010	10 0,89 0,008	5 0,90 0,010	5 0,90 0,005	2 0,90 0,010 $\frac{n}{\bar{x}}$ S^2

6 и 24 степенях свободы (уровень значимости 0,1—0,5%) и $M=3,07$ при 7 степенях свободы (уровень значимости 79,6%). Реальность воздействий градаций фактора на величины отношений весового и промышленного контуров подтверждает (хотя и с невысокой надежностью) установленное выше положение при выборе случайных блоков «рандомизации» по трем наблюдениям в блоке ($F=1,2$ при 6 и 29 степенях свободы, $M=7,2$ при 7 степенях свободы — уровень значимости 30%).

По соотношениям значений в строках можно выбрать наиболее эффективные группы градаций фактора, отражающие информативность морфометрических показателей долин в отношении условий россыпеобразования в пределах Чаун-Чукотки. Наибольшие скачки показателей концентрации отмечаются в группах >1,7; 1,7—1,4; 1,4—1,0; 1,0—0,7; <0,70. В центральных группах условия для концентрации наиболее благоприятные, в крайних — наимудшие, что отлично согласуется с современными представлениями о процессах россыпеобразования. Отклонения от этой закономерности, наблюдаемые в двух крайних правых столбцах пятой строки таблицы, объясняются, видимо, местным проявлением особенно благоприятной металлогенической обстановки, т. е. повышенной концентрацией золота в коренных источниках.

В итоге проведенных исследований можно утверждать, что сочетания порядков и уклонов долин в пределах золотоносных узлов Чаун-Чукотки связаны с реальными факторами контроля распределений концентраций золота в аллювии и могут служить индикаторами благоприятных или неблагоприятных условий для образования россыпей. Особенно эффективно они проявляются при наличии данных о пробности золота. Вместе с тем следует признать, что порядки и уклоны долин совершенно не контролируют распределения низких концентраций золота в россыпях, которые тем не менее могут быть промышленными. В этих случаях, очевидно, необходимо привлечение дополнительных геоморфологических данных и информации о типах коренных источников полезного компонента.

ЛИТЕРАТУРА

- Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. М., «Наука», 1965.
Вистелиус А. Б., Романова М. А., Фаас А. В. О некоторых факторах, влияющих на концентрацию руды в месторождениях «Северная Плавиновая Гора» и «Восточная вершина» Хайдарканской группы. — Геол. рудных месторождений, № 4, 1968.
Девдариани А. С. Итоги науки. Геоморфология. Математические методы, вып. 1. М., 1966.

- Кашменская О. В., Хворостова З. М. Геоморфологический анализ при поисках россыпей. Новосибирск, 1965.
- Крамбейн У., Грейбилл Ф. Статистические методы в геологии. М., «Мир», 1969.
- Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М., Изд-во АН СССР, 1955.
- Орлянкин В. Н. Новый метод построения нормального профиля рек в целях морфоструктурного анализа (для горных рек Северо-Востока).— В сб.: Структурно-геоморфологические исследования в Сибири. Новосибирск, «Наука», 1970.
- Самусиков В. П. Взаимосвязь пробности и крупности самородного золота в месторождениях Северо-Востока СССР.— Докл. АН СССР, т. 191, № 3, 1970.
- Скрябин А. Н. К вопросу о зональности распределения золота по пробности в бассейне верхнего течения р. Индигирки.— В сб.: Геология россыпей золота и закономерности их размещения в центральной части Яно-Колымского складчатого пояса. М., «Наука», 1966.

Чаунская комплексная геологоразведочная
экспедиция СВТГУ

Поступила в редакцию
18.1.1972

STUDY OF SOME MORPHOMETRIC FACTORS OF ENDOTHERMAL GOLD CONCENTRATION IN CHAUN-CHUKOTKA PLACERS

V. V. KRASKOV and V. V. LOBANOV

Summary

For alluvial placers of gold concentration, size and quality of gold are ascertained to depend on morphometrical indices of fluvial network by means of mathematic statistics. Reliability of the dependance are discussed.