

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ РУДОВМЕЩАЮЩЕГО ОРЕОЛА МЕЗОТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПАДНОЕ (ЛЕНСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН)

Р. Ю. Гаврилов

Рассмотрены геохимическая зональность и аномальная структура геохимического поля на золоторудных объектах Ленского рудного района. На основании результатов kernового опробования по пяти разведочным линиям исследована геохимическая зональности Западного месторождения, расположенного в западной части Сухоложского рудного поля. Установлено концентрически-зональное строение крупнообъемного геохимического ореола.

Ключевые слова: золото, непараметрические методы математической статистики, геохимическая зональность.

GEOCHEMICAL ZONING OF ORE-HOSTING HALO OF THE ZAPADNOYE MESOTHERMAL GOLD ORE DEPOSIT (LENSKIY ORE DISTRICT)

R. Yu. Gavrilov

Geochemical zoning and abnormal structure of a geochemical field within gold ore targets of the Lenskiy ore region are examined. The geochemical zoning of the Zapadnoye deposit that is situated in the western Sukhoi Log ore field is investigated based on the core sampling by five exploring lines. Concentric zonal structure of large-volume geochemical halo is determined.

Keywords: gold, nonparametric methods of mathematical statistics, geochemical zoning.

Постановка задачи

В последнее десятилетие крупнообъемные золоторудные месторождения черносланцевой формации с уникальными запасами, но низкими содержаниями полезного компонента (первые граммы на тонну) становятся объектом повышенного интереса геологов-производственников, научных работников и инвесторов [6, 9, 10, 19].

Один из критериев выделения перспективных объектов на ранних стадиях изучения площадей, локализации рудных тел на последующих этапах работ – это исследование поведения элементов-спутников и элементов – индикаторов оруденения (геохимический критерий). Он успешно применяется при площадных литогеохимических съемках [3, 18] и при оконтуривании рудных тел в объеме недр с помощью горно-буровых работ [7, 8, 20].

Цель данной работы – выявление геохимической зональности, аномальной структуры геохимического поля (АСГП) золотого оруденения месторождения Западное Сухоложского рудного поля.

Методика исследования

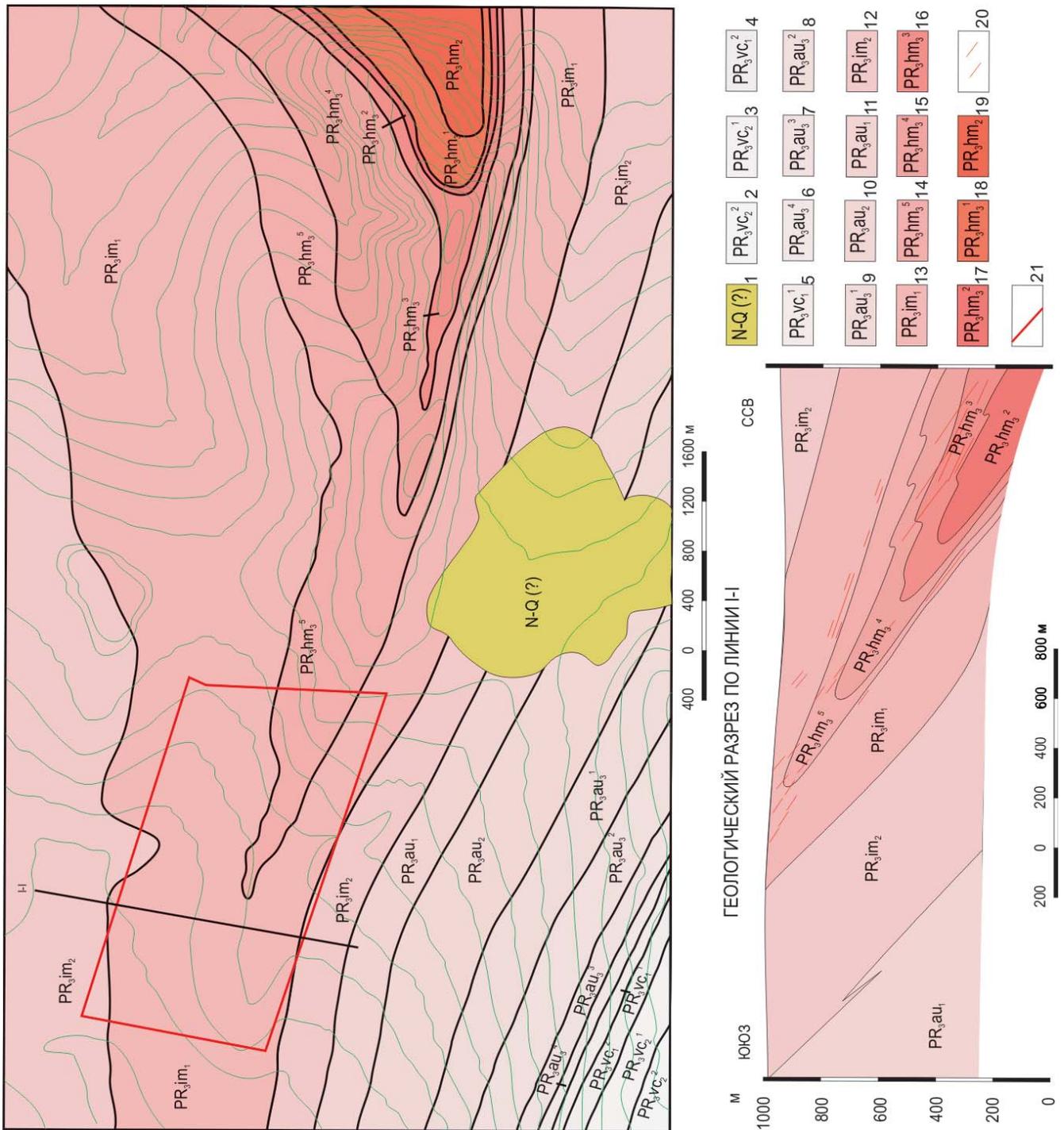
Месторождение Западное вскрыто поверхностными горными выработками и скважинами колонкового бурения. В западной части разведочное бурение проведено по сети 50×50 м, в восточной – по сети 100×50 м и реже. Подсчитаны запасы и оценены прогнозные ресурсы соответствующих категорий. В основу изучения геохимической

зональности месторождения положены результаты опробования керн скважин по пяти буровым линиям (БЛ 82, 76,5, 64, 60, 54). Для определения содержания золота отбирались секционные керновые пробы средней длиной 1 м. Содержание элементов-спутников золотого оруденения определялось по пробам, отобранном способом пунктирной борозды средней длиной 3 м.

Золото анализировалось пробирным методом: в 1989–1995 гг. в химической лаборатории Бодайбинской экспедиции, в 2007–2008 гг. – в пробирно-аналитической лаборатории ООО «Ленгео», входящей в состав ООО «Ленская золоторудная компания». Чувствительность метода



Рис. 1. Схема расположения месторождения Западное



составляла 0,1 г/т. На время проведения аналитических исследований обе лаборатории были аттестованы.

Для выявления геохимической зональности, аномальной структуры геохимического поля оруденения эмиссионным спектральным полуколичественным методом по сколковым пробам на спектрографе ДФС-8 методом просыпки был проведен анализ на 28 элементов в лаборатории Бодайбинской геолого-разведочной экспедиции в 2007–2008 гг.

При расчете ранговой корреляции, статистических показателей, характеризующих интенсивность процессов рудообразования, были использованы 23 элемента; содержания лантана, сурь-

мы, висмута, иттербия, таллия ниже чувствительности анализа.

Несмотря на широкий спектр определенных элементов, точность анализа не позволила использовать большинство из них для выделения геохимических ассоциаций. Было выбрано семь наиболее информативных элементов-спутников золотого оруденения: Ag, As, Pb, Co, Cu, Ni, Zn. Это позволило уменьшить помехи, создаваемые целым рядом элементов и существенно усилить полезный сигнал, получаемый при обработке геохимических данных.

Для расчета статистических показателей по элементам-спутникам золотого оруденения было использовано более 7000 анализов секционных



Рис. 2. Схема геологического строения Сухоложского рудного поля (по В. Г. Мартыненко, 2009)

1 – неоген-четвертичный отдел, корово-карстовые (?) глинистые отложения; 2–5 – вацкая свита: 2 – верхняя подсвита, второй горизонт, сланцы серицит-кварцевые высокоуглеродистые, 3 – верхняя подсвита, первый горизонт, кварцитовидные песчаники, 4 – нижняя подсвита, второй горизонт, сланцы серицит-кварцевые высокоуглеродистые и филлитовидные, 5 – нижняя подсвита, первый горизонт, кварцитовидные песчаники серого цвета; 6–11 – аунакитская свита: 6 – верхняя подсвита, четвертый горизонт, тонко-среднеритмичное переслаивание сланцев филлитовидных, алевролитов слабоуглеродистых, песчаников, 7 – верхняя подсвита, третий горизонт, грубое переслаивание песчаников известковистых, кварцитовидных, алевролитов известковистых и сланцев филлитовидных, 8 – верхняя подсвита, второй горизонт, тонкоритмичное переслаивание сланцев углеродистых филлитовидных и серицит-кварцевых, песчаников серицит-кварцевых, 9 – верхняя подсвита, первый горизонт, углеродистые известняки, 10 – средняя подсвита, прослои кварцитовидных песчаников, 11 – нижняя подсвита, переслаивание сланцев углеродистых, песчаников кварцевых, известковистых и известняков; 12–13 – имняхская свита: 12 – верхняя подсвита, известняки белые, кремовые с зеленоватым оттенком, слои сланцев известковистых, 13 – нижняя подсвита, ритмичное переслаивание сланцев, песчаников известковистых, слои известняков; 14–19 – хомолхинская свита: 14 – пятый горизонт, сланцы филлитовидные, углеродистые прослои алевролитов и песчаников кварцево-сланцевых, 15 – четвертый горизонт, алевролиты кварцево-сланцевые, 16 – третий горизонт, ритмичное переслаивание сланцев углеродистых, алевролитов и песчаников кварцево-сланцевых, 17 – второй горизонт, сланцы высокоуглеродистые, 18 – первый горизонт, ритмичное переслаивание сланцев углеродистых, песчаников кварцево-сланцевых, 19 – средняя подсвита, песчаники кварцитовидные; 20 – рудовмещающие мелкие разрывные нарушения; 21 – контур Западного участка

сколковых проб. Расчет фоновых содержаний элементов проводился по стандартной методике с использованием результатов анализов 198 проб, отобранных из керна трех скважин, расположенных на периферии месторождения.

При составлении объемной геолого-геохимической модели использовались статистические расчеты энергии рудообразования, дисперсии и вариации геохимического спектра, методы непараметрической статистики: ранговая корреляция, кластерный и факторный анализы.

Краткий очерк геологического строения месторождения

Изучением геологического строения и вещественного состава пород и руд Сухоложского рудного поля, в западной части которого расположено месторождение, занималось не одно поколение исследователей [2, 5, 10, 12–15, 17]. Приведем краткие сведения о его строении.

Месторождение Западное находится на севере Иркутской области в центральной части Бодайбинского района в пределах Витимо-Патомского нагорья (рис. 1). Оно приурочено к западной части Сухоложской антиклинали, сложенной терригенно-осадочными породами верхней подсвиты хомолхинской свиты и нижней подсвиты имняхской свиты (рис. 2). Рудовмещающая складка вытянута в субширотном направлении, имеет асимметричное строение и запрокинута на юг. Северное и южное крылья антиклинали падают под углами 15–20° и 30–45° соответственно. Складка осложнена мелкими флексурами, нарушениями высоких порядков (взбросы, надвиги и др.), которые и являются структурами, вмещающими основную часть оруденения. Рудные тела Западного месторождения залегают в обрамлении Кадали-Сухоложского глубинного разлома и являются продолжением центральной залежи Сухоложского рудного поля.

Терригенно-осадочные породы, в составе которых содержится до 3,5 мас. % углеродисто-

го вещества, подверглись региональному метаморфизму и гидротермально-метасоматическим преобразованиям. Основная масса золота связана с жильно-прожилково-вкрапленной кварц-сульфидной минерализацией. Сульфиды представлены пиритом, пирротинном, реже арсенопиритом, содержат также микропримеси нескольких десятков минералов [10].

Рудные тела характеризуются субпослойным залеганием и приурочены, как правило, к горизонтам тонкоритмичного переслаивания углеродистых кварц-серицитовых, иногда слабоизвестковистых сланцев с известковистыми породами. Они имеют сложную конфигурацию с частыми раздувами, достигающими десятков метров, пережимами, выклиниванием и разветвлением на несколько тел. От осевой части антиклинали к ее крыльям прослеживается закономерное снижение содержания золота от промышленных концентраций до фоновых значений. Распределение золота в рудных телах крайне неравномерно. Средняя проба золота на месторождении 879 ‰.

Геохимическая изученность месторождения

К сожалению, основные сведения о распределении золота и его элементов-спутников в пределах Сухоложского рудного поля можно почерпнуть лишь из отчетов, находящихся в фондах территориальной геологической информации, что связано с определенными трудностями. Это обстоятельство, с одной стороны, усложняет изучение геохимических процессов на месторождении, но с другой – позволяет сделать независимые выводы, на которые не оказывает влияние ни одна из точек зрения исследователей предшествующего периода.

Краткая геохимическая характеристика месторождения приведена по данным В. Г. Мартыненко. Площадные геохимические работы по изучению вторичных ореолов рассеяния в центральной части Сухоложского рудного поля



в м-бе 1:25 000–1:10 000 были проведены в 1970–1990-х гг. В. А. Загоскиным (1975), Б. В. Шергиным (1977) и др. На территории месторождения В. А. Бобровым в 1990 г. была проведена литогеохимическая съемка м-ба 1:10 000. В результате этих работ установлены крупные площадные аномалии золота и элементов-спутников золотого оруденения: серебра, мышьяка, свинца, меди и цинка.

Первичные ореолы рассеяния на месторождении изучались в ходе проведения оценочных и разведочных работ в 1988–1991 и 2007–2008 гг. На первом этапе В. Н. Глазковым в 1992 г. были установлены элементы, характеризующиеся положительными (Ag, As, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, B, Sn) и отрицательными (Ba и Cr) корреляционными связями. Установлено, что ореолы золота распространены в основном в пределах плоскости антиклинали и в прилегающих частях ее крыльев, преимущественно совпадая с положением рудных тел. Ореолы серебра и мышьяка в целом пространственно совмещены с ореолами золота. Остальные химические элементы ведут себя по-разному.

В ходе проведения разведочных работ в 2007–2008 гг. подтверждено, что первичные ореолы золота хорошо согласуются с положением рудных тел, являясь субсогласными слоистости вмещающих пород и в то же время локализуясь в пределах тектонических зон. Установлено, что основными элементами-спутниками золотого оруденения являются серебро, мышьяк, цинк и медь.

Основные результаты исследования и их обсуждение

Поведение золота и его элементов-спутников характеризуется различной степенью информативности для целей прогнозирования и поисков месторождений. Все элементы отвечают распределению содержаний, близкому к логнормальному. Основные параметры распределения содержаний элементов приведены в табл. 1.

Распределение золота на месторождении крайне неравномерное (рис. 3). Установлен бимодальный характер распределения содержаний. Первая мода ($\approx 0,1$ г/т) характеризует аномальные концентрации, расположенные на периферии и частично внутри рудных тел. Наличие второго, наиболее часто встречаемого максимума

($\approx 0,6$ г/т), связано в основном с формированием промышленной золотой минерализации с содержанием золота до $n \cdot 10$ г/т.

Распределение золота в объеме минерализованной зоны контролируется прежде всего структурным и литологическим факторами (рис. 4). В западной и крайней восточной частях месторождения оруденение приурочено к крыльям и ядру антиклинальной складки (БЛ 76,5, БЛ 70,5 и др.), а по большинству восточных буровых линий – к ее крыльям. Ореолы золота лентовидной, линзовидной и седловидной форм. Контуры промышленных рудных тел практически полностью совпадают с ореолами распространения золота. Наиболее богатое оруденение приурочено к западной части месторождения (за исключением ее периферии), где оно детально изучено по густой сети разведочных буровых скважин, а также к периферии восточного фланга месторождения.

Наибольшее совпадение в пространстве с ореолами золота характерно для высококонтрастных ореолов *серебра* и *кобальта*. Ореолы *мышьяка* не всегда совпадают с контурами рудных тел, образуя отдельные точечные высококонтрастные аномалии по периферии антиклинальной складки, при этом в ее осевой плоскости отмечаются субфоновые концентрации. Контрастные ореолы *меди* приурочены в основном к над- и подрудной частям минерализованной зоны, за редким исключением совмещаясь с ореолами золота более 1 г/т. Ореолы никеля расположены в различных частях крупнообъемного метасоматического ореола, не проявляя существенной пространственной связи с ореолами золота. Элементы полиметаллической ассоциации ведут себя

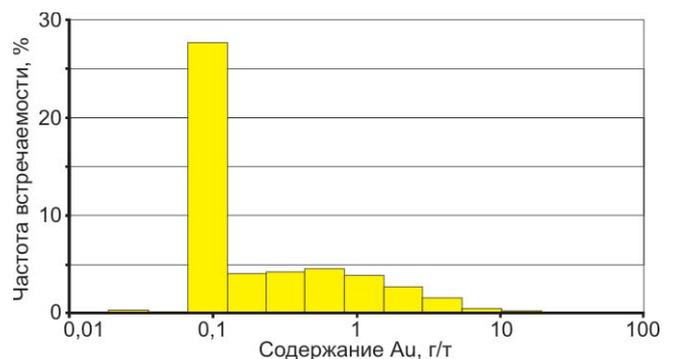


Рис. 3. Гистограмма распределения золота по результатам кернового опробования

Таблица 1

Основные статистические параметры распределения содержаний рудогенных элементов на месторождении Западное (n = 7294, для Au n = 37634)

Показатель	Au	Ag	As	Pb	Zn	Cu	Co	Ni
\bar{x}	0,34	0,23	53,8	19,4	99,6	44,7	27,0	45,1
\tilde{x}	0,24	0,11	35,3	11,2	69,7	30,1	18,5	32,8
s	1,9	0,69	151,6	28,6	100,2	59,1	32,4	41,8
t	1,5	3,0	2,4	3,2	2,5	2,5	2,4	2,3

Примечание. \bar{x} – среднее арифметическое, г/т; \tilde{x} – среднее геометрическое, г/т; s – стандартное отклонение, г/т; t – стандартный множитель.

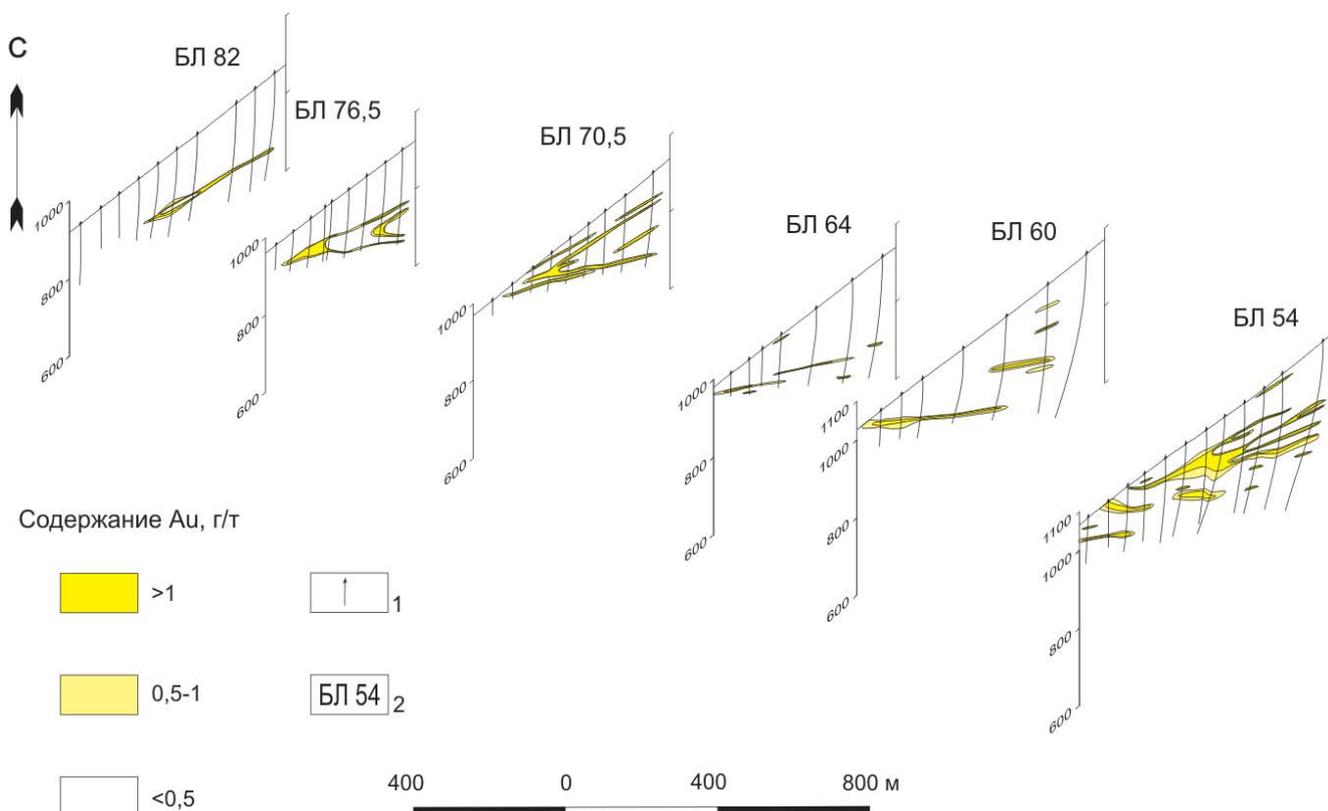


Рис. 4. Блок-диаграмма распределения золота в рудовмещающем метасоматическом ореоле месторождения: 1 – разведочные скважины; 2 – буровые линии и их номера

идентично, образуя ореолы различной формы, частично коррелирующие с положением рудных тел. Распределение высококонтрастных содержаний всех рудогенных элементов подчиняется структурным элементам антиклинальной складки (крыльям, замку, оси).

По результатам *рангового корреляционного анализа*, проведенного с участием всех изученных элементов, почти все элементы имеют значимую корреляционную связь между собой. Золото проявляет положительную корреляционную связь с W, Ag, Co, P, Ti, Sn, B, V, Ge, Mo, Zn, Ni, Cu, Mn, значимую отрицательную – с Li и Y. Остальные элементы (As, Ba, Be, Cr, Pb, Sr) характеризуются корреляцией с золотом ниже порога значимости. Наличие значимых корреляционных связей между большинством химических элементов не позволяет выделить устойчивые геохимические ассоциации, отвечающие различным стадиям минералообразования.

Показатель *энергии рудообразования*, отражающий интенсивность процессов массопереноса вещества, предложен Н. И. Сафроновым для характеристики руд сложного состава и комплексных ореолов [16].

Расчет производился по всем проанализированным элементам, кроме золота, характеризующегося высоким коэффициентом накопления и оказывающего большое влияние на значения показателя. Показатель существенно изменяется в различных частях месторождения. По периферии рудных тел его значения редко опускаются

ниже 40 усл. ед., наибольшие отмечаются на восточных профилях (БЛ 64, 60 и 54) – до 150–160, в единичных случаях – 2000–3000 усл. ед. На этих профилях наблюдается пространственное совмещение ореолов показателя со значением более 100 усл. ед. с ареалом распространения рудных тел. На центральных и западных профилях значения показателя редко превышают 600–800 усл. ед., как занимая промежуточное положение между ореолами золота, так и совпадая с ними.

Таким образом, высококонтрастные значения показателя энергии рудообразования на профилях хорошо коррелируют с ореолами распространения золота различной интенсивности.

Л. Н. Овчинниковым был сформулирован закон общего дифференциального перемещения вещества Земли: «Образование всякого рудного месторождения – переход металлов от рассеяния к концентрации, осуществляемый в процессе дифференциального перемещения вещества...» [11]. В свою очередь, перераспределение вещества отражается на изменении характеристик геохимического спектра (содержании химических элементов, корреляционных связях и др.) геологических образований.

Показателями, описывающими степень нарушения геохимического поля и интенсивность процессов перераспределения вещества, в том числе и при образовании гидротермальных месторождений, являются *дисперсия и вариация геохимического спектра* (ДГС и ВГС), которые



рассчитываются по нормированному содержанию элементов [4]. При этом может быть использован весь спектр проанализированных химических элементов. Таким образом, точность проведенных аналитических исследований и количество определяемых элементов существенно влияют на результаты интерпретации степени нарушенности геохимического поля.

Большое количество проанализированных элементов ($n > 10$) в пробе обеспечивает статистическую устойчивость данных показателей.

Показатели ДГС и ВГС, как и энергия рудообразования, рассчитывались по всем проанализированным элементам, кроме золота. Ореолы показателя ДГС хорошо коррелируют с площадью распространения ореолов золота и рудных тел на разрезах. Значения ДГС напрямую связаны с контрастностью оруденения и площадью рудных тел на разведочных разрезах: чем выше контрастность и больше площадь, занимаемая рудными телами, тем выше значения показателя. Рудная залежь уверенно оконтуривается ореолами со значениями от 10 до 50–100 усл. ед. и выше.

Ореолы показателя ВГС совпадают с высококонтрастными ореолами золота на всех профилях и хорошо коррелируют с площадью распространения рудных тел. Рудная залежь уверенно оконтуривается ореолами со значениями 200–300 % и выше.

Распределение обоих показателей зависит от степени интенсивности гидротермально-метасоматических процессов рудообразования.

Таким образом, высококонтрастные ореолы золота проявляют устойчивую пространственную связь с аномальными ореолами показателей дисперсии и вариациями геохимического спектра. По аналогии со схемами распределения содержаний химических элементов контрастные ореолы показателей повторяют форму залегания антиклинальной складки.

При помощи *кластер-анализа* была осуществлена иерархическая классификация с построением дендрограмм по методу Варда для восьми рудогенных элементов (рис. 5). По харак-

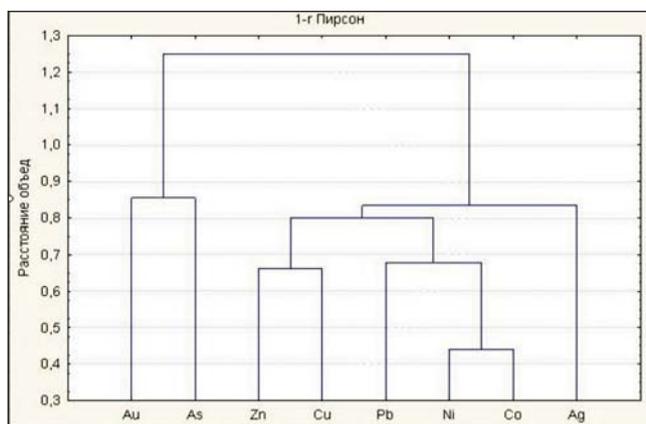


Рис. 5. Дендрограмма рудогенных элементов (метод Варда)

теру взаимосвязи элементы объединены в следующие ассоциации: 1) Au-As; 2) Zn-Cu, Pb-Ni-Co, 3) Ag. При этом наибольшей связью среди рудогенных элементов отличаются Ni и Co.

При проведении кластер-анализа методом К-средних в объеме месторождения установлено доминирование во всех классах серебра и золота, что прежде всего связано с низким кларком этих элементов в земной коре и, как следствие, значительным разбросом содержаний в пределах месторождения. Целью выделения классов проб было установление геохимической зональности месторождения. Полученные результаты сопоставлялись со стадийностью минералообразования, разработанной Ю. В. Ляховым и др.

По отличительным особенностям геохимического спектра рудогенных элементов было выделено пять классов проб. Пробы, характеризующиеся наибольшими значениями Au и As (1-й кластер), являются единичными и не образуют ореолов в пределах разведочных разрезов.

Кластеры 2, 3, 4, 5 образуют концентрически-зональную структуру. В геохимический спектр кластера 2 основной вклад вносят Au и As, уступая по значениям лишь 1-му классу проб. Площадь его распространения на разрезах совпадает с наиболее мощными и высококонтрастными участками рудных тел и отвечает кварц-пирит-арсенопиритовой с золотом стадии минералообразования.

Кластер 3 отличается средним значением Au по сравнению с другими кластерами, но более высоким вкладом Co, Cu, Ni, Zn. Он хорошо сопоставляется с общим ореолом Au и соответствует золото-кварц-полисульфидной стадии минералообразования.

Расположенному по периферии ореолов Au кластеру 4 свойственны пробы с наивысшими значениями Pb и Ag и различным вкладом остальных рудогенных элементов. Этот кластер картирует объем минерализованной зоны, заполненной ранними сульфидами.

Периферийную часть месторождения занимает кластер 5, характеризующийся пробами с наиболее низкими значениями большинства рудогенных элементов.

В результате анализа установлено, что выделенные классы проб по особенностям поведения геохимического спектра рудогенных элементов согласуются со стадийностью минералообразования месторождения Западное.

Для выделения ассоциаций рудогенных элементов и выявления геохимической зональности был проведен *факторный анализ*. Среди рудогенных элементов выделены три ассоциации (табл. 2):

- фактор 1 – Co, Cu, Ni, Zn, Pb (полиметаллическая);
- фактор 2 – Au, As (золотомышьяковистая);
- фактор 3 – Ag, Pb (серебросвинцовая).



Таблица 2

Матрица факторных нагрузок

Элемент	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Au	-0,03	0,79	0,00
Ag	0,05	0,05	0,85
As	0,20	0,69	0,04
Co	0,70	0,17	0,36
Cu	0,62	0,08	0,24
Ni	0,71	0,03	0,22
Pb	0,35	-0,06	0,64
Zn	0,75	-0,02	-0,09
Общая дисперсия	2,13	1,16	1,40
Доля общая	0,26	0,14	0,17

Эти ассоциации оказывают наибольшее влияние на три первых фактора соответственно. Все три фактора с суммарной дисперсией 57 % являются рудными, т. е. элементы, характеризующиеся максимальными нагрузками на эти факторы, участвовали в процессе рудообразования.

Первый фактор (вклад в общую дисперсию 26 %) в большинстве случаев накладывается на ореолы золота и рудные тела, занимая существенный объем минерализованной зоны.

Вкладом в общую дисперсию в размере 14 % характеризуется фактор 2. Его ореолы образуют преимущественно прерывистые линейно вытянутые формы, отличаясь наименьшей площадью распространения на разведочных разрезах в сравнении с факторами 1 и 3. Во всех разрезах значения фактора распределены в пределах минерализованной зоны, проявляя устойчивую корреляционную связь с ореолами золота, преимущественно совпадая с местоположением богатых рудных тел, а в некоторых случаях – рядовых руд.

Зависимости в расположении рудных тел и значений фактора 3, составляющего 17 % от общей дисперсии, установлено не было. Отмечается, что ореолы фактора тяготеют к более периферийным частям разреза при эпизодическом наложении на ареалы распространения золотой минерализации.

Анализ поведения рудогенных ассоциаций, выделенных по результатам факторного анализа, позволил соотнести их со стадийностью гидротермального минералообразования (в порядке образования).

Стадия отложения ранних сульфидов (кварц-пирротиновая и кварц-пирит-сидеритовая ассоциации) допродуктивного этапа выражена в ассоциации элементов, вносящих основной вклад в фактор 3. Здесь, несмотря на основную долю в нагрузке фактора Ag и Pb, также участвуют Co, Cu, Ni. Меньшая степень нагрузки последних элементов на этот фактор, очевидно, связана с воздействием более поздних мощных процессов рудообразования и их перераспределением в крупнообъемном метасоматическом ореоле.

Продуктивный (гидротермальный) этап рудообразования отражен в ассоциациях элементов, выделенных в факторах 1 и 2.

В кварц-пирит-арсенопиритовую с золотом стадию минералообразования из растворов золотомышьяковистого состава кристаллизовались две минеральные ассоциации (фактор 2): кварц-пирит-арсенопиритовая и кварц-сидерит-анкеритовая.

Геохимическая ассоциация рудогенных элементов фактора 1 (Co, Cu, Ni, Zn, Pb) характеризует наиболее интенсивную золотокварц-полисульфидную стадию (кварц-сфалерит-галенитовая, кварц-пирит-халькопирит-блеклорудная с золотом, кварц-пирит-анкерит-кальцитовая ассоциации) гидротермально-метасоматического процесса рудообразования.

Таким образом, геохимические ассоциации рудогенных элементов, установленные с помощью факторного анализа, также отвечают стадиям гидротермально-метасоматического процесса рудообразования на месторождении. Это обстоятельство позволяет по результатам геохимического опробования картировать не только геохимические, но и минеральные парагенетические ассоциации в объеме месторождения.

На основе результатов, полученных при обработке геохимической информации методами математической статистики, установлены геохимические ассоциации элементов, непосредственное участвовавшие в формировании минеральных парагенетических ассоциаций в процессе гидротермально метасоматического рудообразования. Полученные данные позволили составить обобщенную модель геохимической зональности мезотермального золоторудного месторождения черносланцевой формации (рис. 6).

Стадия отложения ранних сульфидов (кварц-пирротиновая и кварц-пирит-сидеритовая ассоциации) допродуктивного этапа выражена в Co-Ni ассоциации элементов, распространенной по периферии минерализованной зоны, в основном за пределами контуров рудных тел.

В кварц-пирит-арсенопиритовую с золотом стадию минералообразования (кварц-пирит-арсенопиритовая и кварц-сидерит-анкеритовая ассоциации) отлагались растворы золотомышьяковистого состава, которые локализовались в центральной части минерализованной зоны, преимущественно в пределах рудных тел.

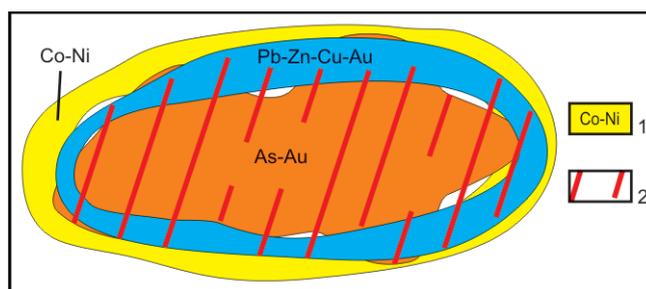


Рис. 6. Обобщенная модель первичной геохимической зональности золоторудного месторождения Западное
1 – геохимические ассоциации, 2 – контур рудного тела



В заключительную золотокварц-полисульфидную стадию продуктивного этапа (кварц-сфалерит-галенитовая, кварц-пирит-халькопирит-блеклорудная с золотом, кварц-пирит-анкерит-кальцитовая ассоциации) выделяется геохимическая ассоциация рудогенных элементов Pb-Zn-Cu-Au, которая, в целом, распространена по периферии рудной минерализации.

Выделенные геохимические ассоциации и их пространственное положение согласуются со стадийностью минералообразования, разработанной для Сухоложского рудного поля. АСГП, как и на других золоторудных объектах [2, 3, 7], характеризуется концентрически-зональным строением. В результате получено полноценное представление о строении крупнообъемного геохимического ореола месторождения Западное.

Таким образом, расшифровка АСГП месторождения дает возможность выделять минерализованные зоны, вычленять минеральные и геохимические ассоциации процесса рудообразования, определять уровень эрозионного среза оруденения как при площадных геохимических съемках, так и в изучаемом объеме недр по результатам горно-буровых работ на площадях с аналогичным типом оруденения.

Автор выражает признательность главному геологу ООО «Ленская золоторудная компания» Владимиру Геннадьевичу Мартыненко за любезно предоставленный фактический материал.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Наука» № 5.4730.2011.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Буряк, В. А.** Метаморфизм и рудообразование [Текст] / В. А. Буряк. – М. : Недра, 1982. – 256 с.
2. **Ворошилов, В. Г.** Аномальные структуры геохимических полей гидротермальных месторождений золота: механизм формирования, методика геометризации, типовые модели, прогноз масштабы оруденения [Текст] / В. Г. Ворошилов // Геология рудных месторождений. – 2009. – Т. 51. – С. 3–19.
3. **Ворошилов, В. Г.** К вопросу о геометризации аномальных структур геохимических полей гидротермальных рудных месторождений [Текст] / В. Г. Ворошилов // Изв. ТПУ. – 2007. – Т. 311, № 1. – С. 84–89.
4. **Выборов, С. Г.** Опыт использования комплексного показателя нарушенности геохимического поля для прогнозирования оруденения [Текст] / С. Г. Выборов, И. И. Быстров // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1990. – № 4. – С. 102–110.
5. **Гаврилов, А. М.** Минералого-геохимические особенности руд месторождения Сухой Лог [Текст] / А. М. Гаврилов, С. Г. Кряжев // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 8. – С. 3–16.
6. **Геолого-геохимические** особенности гигантских месторождений золота в черных слан-

цах Центральной Азии [Текст] / М. С. Рафаилович, И. М. Голованов, О. А. Федоренко [и др.] // Поисковая геохимия: теоретические основы, технологии, результаты. – Алматы : НИИ природных ресурсов ЮГГЕО, 2004. – С. 67–83.

7. **Геохимическая** зональность рудовмещающего ореола мезотермального золоторудного месторождения Чертово Корыто (Патомское нагорье) [Текст] / Р. Ю. Гаврилов, И. В. Кучеренко, В. Г. Мартыненко, А. В. Верховзин // Изв. ТПУ. – 2011. – Т. 319, № 1. – С. 42–47.

8. **Григорьев, С. А.** Основы структурной интерпретации геохимических полей рудных объектов для целей их локализации и оценки [Текст] / С. А. Григорьев // Отечественная геология. – 2007. – № 4. – С. 45–52.

9. **Крупнотоннажные** месторождения – ресурс добычи золота в России [Текст] / М. М. Константинов, С. В. Волков, С. Ф. Стружков, Н. В. Цымбалюк // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 6. – С. 5–11.

10. **Новые** данные об условиях рудоотложения и составе рудообразующих флюидов золотоплатинового месторождения Сухой Лог [Текст] / Н. П. Лаверов, В. Ю. Прокофьев, В. В. Дистлер [и др.] // Докл. РАН. – 2000. – Т. 371, № 1. – С. 88–92.

11. **Овчинников, Л. Н.** Образование рудных месторождений [Текст] / Л. Н. Овчинников. – М. : Недра, 1988. – 255 с.

12. **Околорудный** метасоматизм терригенных углеродистых пород в Ленском золоторудном районе [Текст] / В. Л. Русинов, О. В. Русинова, С. Г. Кряжев [и др.] // Геология рудных месторождений. – 2008. – Т. 50, № 1. – С. 3–46.

13. **Петролого-геохимические** черты околорудного метасоматизма в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский район). Ч. 1. Обзор петролого-геохимических исследований рудовмещающего субстрата [Текст] / И. В. Кучеренко, Р. Ю. Гаврилов, В. Г. Мартыненко, А. В. Верховзин // Изв. ТПУ. – 2011. – Т. 319, № 1. – С. 35–41.

14. **Петролого-геохимические** черты околорудного метасоматизма в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский район). Ч. 2. Петрология околорудного метасоматизма [Текст] / И. В. Кучеренко, Р. Ю. Гаврилов, В. Г. Мартыненко, А. В. Верховзин // Изв. ТПУ. – 2012. – Т. 320, № 1. – С. 28–37.

15. **Петролого-геохимические** черты околорудного метасоматизма в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский район). Ч. 3. Геохимия золота и серебра [Текст] / И. В. Кучеренко, Р. Ю. Гаврилов, В. Г. Мартыненко, А. В. Верховзин // Изв. ТПУ. – 2012. – Т. 321, № 1. – С. 33–40.

16. **Сафронов, Н. И.** Энергия рудообразования и поиски полезных ископаемых [Текст] / Н. И. Сафронов, С. С. Мещеряков, Н. П. Иванов ; под общ. ред. Н. И. Марочкина. – Л. : Недра, 1978. – 215 с.



17. **Соотношение** процессов метаморфизма и рудообразования на золотом черносланцевом месторождении Сухой Лог по данным U-Th-Pb-изотопного SHRIMP-датирования акцессорных минералов [Текст] / М. А. Юдовская, В. В. Дистлер, Н. В. Родионов [и др.] // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53, № 1. – С. 32–64.

18. **Структура** геохимического поля мезотермального золоторудного месторождения Чертово Корыто (Северное Забайкалье) [Текст] / И. В. Кучеренко, Р. Ю. Гаврилов, В. Г. Мартыненко, А. В. Верховин // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 11. – С. 19–24.

19. **Условия** формирования и основы прогноза крупных золоторудных месторождений [Текст] / М. М. Константинов, В. В. Аристов, М. Е. Вакин [и др.] // Руды и металлы. – 1999. – № 6. – С. 72–73.

20. **Чекваидзе, В. Б.** Эндогенные ореолы сидерофильных элементов золоторудных месторождений [Текст] / В. Б. Чекваидзе, С. А. Миляев // Руды и металлы. – 2009. – № 6. – С. 15–20.

21. **Шер, С. Д.** Околорудные изменения, сопутствующие золото-кварцевым жилам в Ленском золотоносном районе [Текст] / С. Д. Шер ; под ред. Н. И. Наквника // Метасоматические изменения боковых пород и их роль в рудообразовании. – М. : Недра, 1966. – С. 282–291.

22. **Этапы** формирования крупномасштабной благороднометальной минерализации месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь): результаты изотопно-геохронологического изучения [Текст] / Н. П. Лаверов, И. В. Чернышов, А. В. Чугаев [и др.] // Докл. РАН. – 2007. – Т. 415, № 2. – С. 236–241.

© Р. Ю. Гаврилов, 2014