

Геология и полезные ископаемые

УДК 553.411.071:550.4

СТРУКТУРА ГЕОХИМИЧЕСКОГО ПОЛЯ МЕЗОТЕРМАЛЬНОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПАДНОЕ (ЛЕНСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН)

Гаврилов Роман Юрьевич,

канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры геологии и разведки
полезных ископаемых Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050,
г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: GavrilovRY@ignd.tpu.ru

Хряпин Данил Александрович,

геолог ООО «Разрез «Березовский», Россия, 653039, г. Прокопьевск,
ул. Ленина, д. 22. E-mail: danil-khryapin@yandex.ru

Актуальность проведенного исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности прогнозно-поисковых работ на рудное золото на основе применения современных методов обработки и интерпретации геохимической информации.

Цель работы: изучение геохимической зональности и выявление аномальной структуры геохимического поля на золоторудном месторождении Западное с целью выработки дополнительных поисковых критериев для прогнозирования золоторудных объектов.

Методы исследования: расчеты статистических параметров методами непараметрической статистики и их обработка программными продуктами Surfer, Statistica, Corel Draw; эмиссионный спектральный полуколичественный анализ, пробирный анализ.

Результаты: на основе изучения результатов опробования керн скважин по пяти разведочным линиям проведено исследование геохимической зональности месторождения Западное. Установлено, что аномальная структура геохимического поля месторождения Западное характеризуется концентрически зональным строением. Контрастные геохимические ореолы ассоциаций рудогенных элементов оконтуривают центральную часть (As-Au) и периферию минерализованной зоны (Pb-Zn-Cu-Au и Co-Ni). Выделенные геохимические ассоциации и их пространственное положение согласуются со стадийностью минералообразования, разработанной для Сухоложского рудного поля. На основе расшифровки аномальной структуры геохимического поля месторождения проведено выделение границ минерализованной зоны, вычленение минеральных и геохимических ассоциаций процесса рудообразования. Полученные результаты позволили существенно уточнить представление о строении крупнообъемного геохимического ореола месторождения Западное.

Ключевые слова:

Золото, Сухоложское рудное поле, черносланцевая формация, непараметрические методы математической статистики, аномальная структура геохимического поля.

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 [1–4]. Такое пристальное внимание объясняется несколькими причинами.

Во-первых, это связано с огромным количеством запасов, содержащихся в месторождениях подобного типа (Мурунтау, Наталкинское, Олим-

пиадинское, Сухой Лог и др.), что делает их очень привлекательными для долгосрочного вложения капитала, так как срок отработки данных объектов составляет несколько десятков лет. *Во-вторых*, комплексность руд данных месторождений при наличии разработанных схем их обогащения существенно увеличивает их аукционную стоимость. *В-третьих*, это связано с относительно простыми и уже отработанными на многих объектах технологическими схемами переработки руд. *В-четвертых*, несмотря на доминирование добычи золота из рассыпных месторождений в советское вре-

мя, золоторудные объекты, залегающие в черносланцевом субстрате, изучены достаточно детально. Это позволяет успешно проводить прогнозно-поисковые работы для локализации перспективных площадей ранга рудный район, рудный узел с целью выявления новых крупнообъемных залежей и вовлечения их в отработку. Таким образом, перспективы выявления новых рудных объектов подобного типа в настоящее время далеко не исчерпаны.

Одним из критериев выделения перспективных объектов на ранних стадиях изучения площадей, локализации рудных тел на последующих этапах работ является исследование поведения элементов-спутников и элементов-индикаторов оруденения (геохимический критерий). Он успешно применяется при проведении площадных литогеохимических съемок [5, 6] и при оконтуривании рудных тел в объеме недр с помощью горно-буровых работ [7–9].

Целью данной работы является выявление геохимической зональности и аномальной структуры геохимического поля (АСГП) золотого оруденения месторождения Западное.

Методика исследования

Золоторудное месторождение Западное расположено в западной части Сухоложского рудного поля. Оно 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 керна скважин по пяти буровым линиям (БЛ 82, 76,5, 64, 60, 54). Для определения содержания золота отбирались секционные керновые пробы, средняя длина которых составляла 1 м. Содержание элементов-спутников золотого оруденения определялось по пробам, отобранным способом пунктирной борозды, средняя длина борозды составляла 3 м.

Золото анализировалось пробирным методом: в период с 1989 по 1995 гг. в химической лаборатории Бодайбинской экспедиции, а в 2007–2008 гг. – в пробирно-аналитической лаборатории ООО «Ленгео», входящей в состав ООО «Ленская золоторудная компания». Чувствительность метода составляла 0,1 г/т. На момент 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 геологоразведочной экспедиции в 2007–2008 гг.

При расчете ранговой корреляции, статистических показателей, характеризующих интенсив-

ность процессов рудообразования, было использовано 23 элемента. Лантан, сурьма, висмут, иттербий, таллий характеризуются содержаниями ниже чувствительности анализа.

Несмотря на широкий спектр определенных элементов, точность анализа не позволила использовать большинство из них для выделения геохимических ассоциаций. Было выбрано 7 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 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 [10–18]. Приведем лишь краткие сведения о его строении.

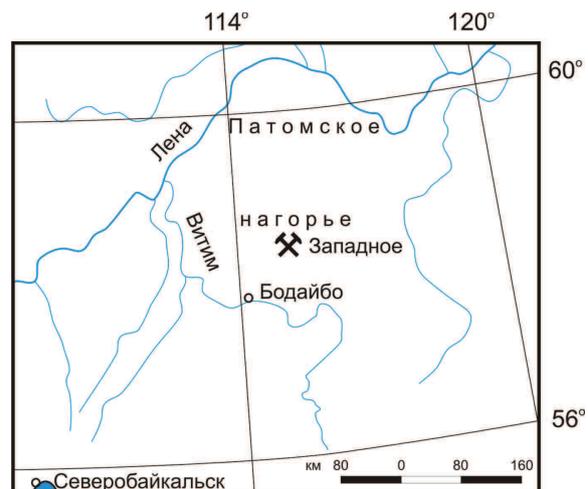


Рис. 1. Схема расположения месторождения Западное

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 холмхинской 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 яв-

ляются 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, содержащие в своем составе углеродистое вещество до 3,5 мас. %, подверглись региональному метаморфизму и гидротермально-метасоматическим преобразова-

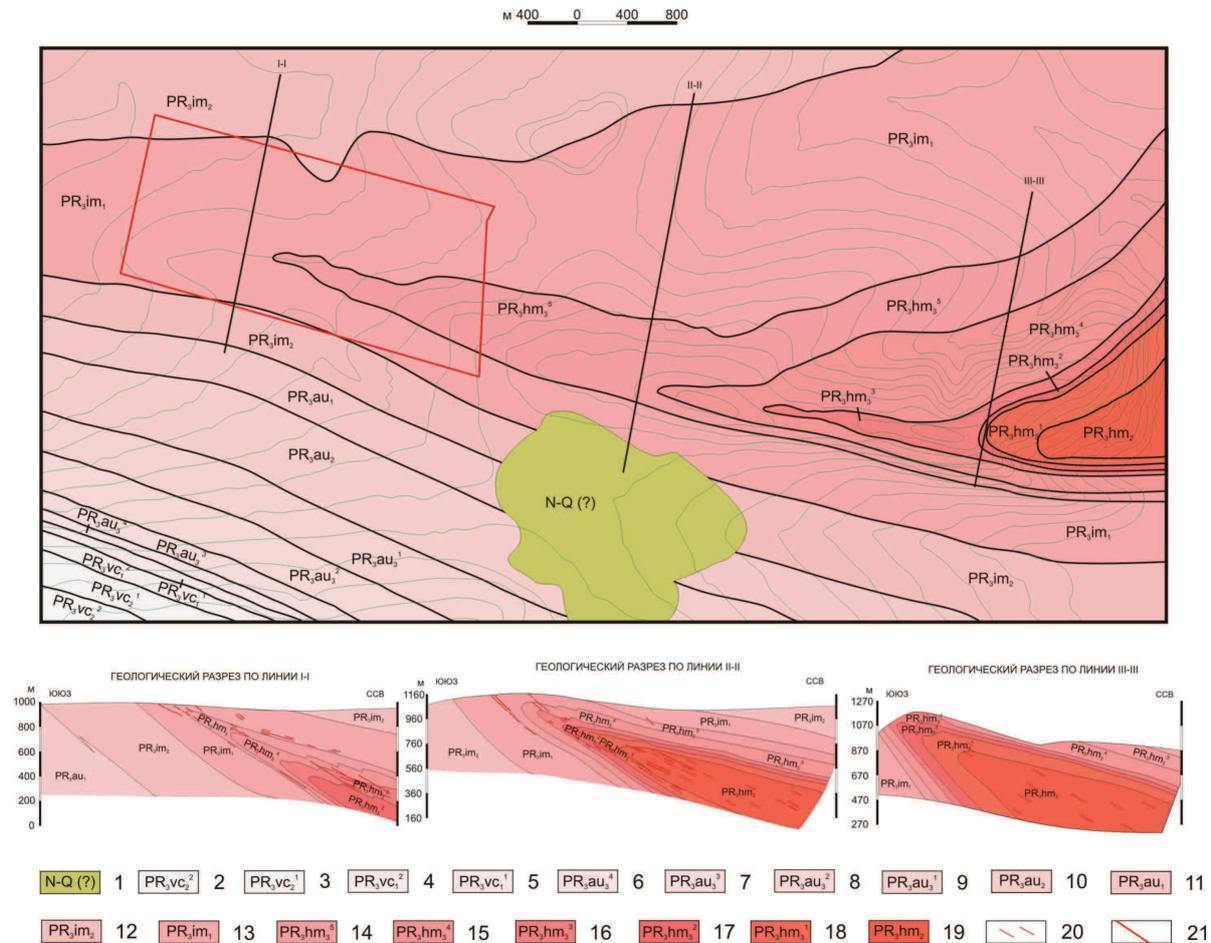


Рис. 2. Схема геологического строения Сухоложского рудного поля (Мартыненко, 2009). 1 – неоген-четвертичный отдел, корово-карстовые (?) глинистые отложения; вачская свита (2–5): 2 – верхняя подсвита, второй горизонт, сланцы серицит-кварцевые высокоуглеродистые; 3 – верхняя подсвита, первый горизонт, кварцитовидные песчаники; 4 – нижняя подсвита, второй горизонт, сланцы серицит-кварцевые высокоуглеродистые и филлитовидные; 5 – нижняя подсвита, первый горизонт, кварцитовидные песчаники серого цвета; аунакитская свита (6–11): 6 – верхняя подсвита, четвертый горизонт, тонко-средне-ритмичное 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; имняхская свита (12, 13): 12 – верхняя подсвита, известняки белые, кремновые с зеленоватым оттенком, слои сланцев известковистых; 13 – нижняя подсвита, ритмичное переслаивание сланцев, песчаников известковистых, слои известняков; холмхинская свита (14–19): 14 – пятый горизонт, сланцы филлитовидные, углеродистые прослои алевролитов и песчаников кварцево-слюдистых; 15 – четвертый горизонт, алевролиты кварцево-слюдистые; 16 – третий горизонт, ритмичное переслаивание сланцев углеродистых, алевролитов и песчаников кварцево-слюдистых; 17 – второй горизонт, сланцы высокоуглеродистые; 18 – первый горизонт, ритмичное переслаивание сланцев углеродистых, песчаников кварцево-слюдистых; 19 – средняя подсвита, песчаники кварцитовидные; 20 – рудовмещающие мелкие разрывные нарушения; 21 – контур Западного участка

ниям. Основная масса золота связана с жильно-прожилково-вкрапленной кварц-сульфидной минерализацией. Сульфиды представлены пиритом, пирротином, реже арсенопиритом. Также руды содержат микропримеси нескольких десятков минералов [12].

Рудные тела характеризуются субслоистым 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 составляет 879 ‰.

Основные результаты исследования и их обсуждение

Поведение золота и его элементов-спутников характеризуется различной степенью информативности для целей прогнозирования и поисков месторождений.

Распределение золота в объеме минерализованной зоны контролируется, прежде всего, структурным и литологическим факторами (рис. 3). В западной и крайней восточной частях месторождения оруденение приурочено к крыльям антиклинальной складки и ядру (БЛ 76,5, БЛ 70,5 и др.), а по большинству восточных БЛ – к ее крыльям.

Ореолы золота представлены лентовидной, линзовидной и седловидной формами. 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 как к над-, так и к подрудной частям минерализованной зоны, за редким исключением совмещаясь с ореолами золота >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 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 проанализированных элементов, почти все элементы имеют

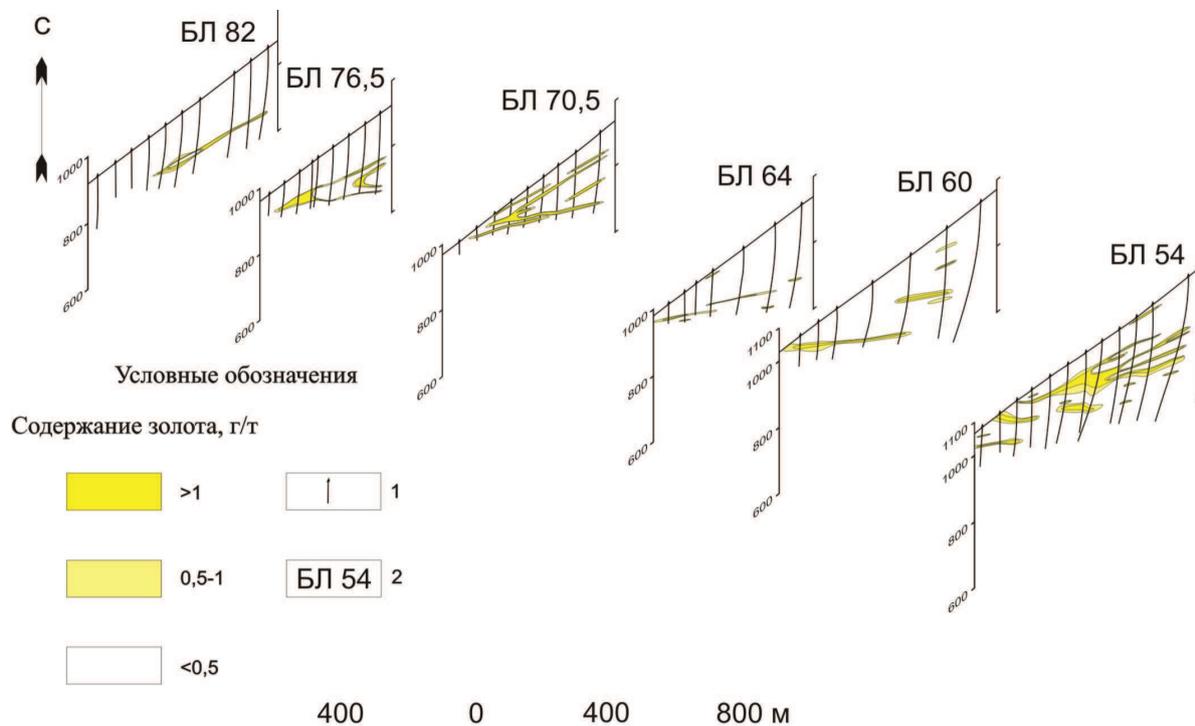


Рис. 3. Блок-диаграмма распределения золота в рудовмещающем метасоматическом ореоле месторождения: 1) разведочные скважины; 2) буровые линии и их номера

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 корреляционную связь 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 [19].

Расчет производился по всем проанализированным элементам, кроме золота, характеризующегося высоким коэффициентом накопления и оказывающим существенное влияние на значения показателя. Величина показателя существенно изменяется в различных частях месторождения. По периферии рудных тел значения показателя редко опускаются ниже 40 усл. ед. Наибольшие значения отмечаются на восточных профилях (БЛ 64, 60 и 54), достигая 150–160 усл. ед., а 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., занимая как 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.

Показателями, характеризующими 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 [20]. 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 нарушения геохимического поля.

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

Показатели ДГС и ВГС, как и энергия рудообразования, рассчитывались по всем проанализированным элементам, кроме золота. Ореолы показателя ДГС хорошо коррелируют с площадью распространения ореолов Au и рудных тел на разре-

зах. 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 Au на всех профилях и хорошо коррелируют с площадью распространения рудных тел. Рудная залежь уверенно оконтуривается ореолами со значениями 200–300 % и выше.

Распределение показателя ВГС, как и ДГС, зависит от степени интенсивности гидротермально метасоматических процессов рудообразования.

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

При помощи *кластер-анализа* была проведена иерархическая классификация с построением дендрограмм по методу Варда для восьми рудогенных элементов. По характеру взаимосвязи элементы объединились 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 (таблица) в объеме месторождения было 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. (Исследование ..., 1982).

Таблица. Результаты кластер-анализа наблюдений по геохимическому спектру рудогенных элементов ($n > 7000$)

Элементы	Кластер				
	1	2	3	4	5
Ag	15,3	12,1	9,4	1593,3	12,8
As	8,7	1,9	1,5	1,7	1,7
Co	2,4	1,7	2,4	1,9	1,5
Cu	1,6	1,7	5,9	1,7	1,5
Ni	2,3	2,1	3,6	2,5	2,1
Pb	1,6	1,5	1,1	1,8	1,6
Zn	1,6	1,8	2,7	1,8	1,5
Au	1244,1	442,5	25,0	12,8	7,0

По отличительным особенностям геохимического спектра рудогенных элементов было выделе-

но 5 классов проб. Пробы, характеризующиеся наибольшими значениями Au и As – 1 кластер, являются единичными и не образуют ореолов в пределах разведочных разрезов.

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

Расположенный по периферии ореолов Au 4 кластер характеризуется пробами с наивысшими значениями Pb и Ag и различным вкладом остальных рудогенных элементов относительно других классов проб. 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 проведенного анализа было 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 выделено три ассоциации:

- 1 фактор – Co, Cu, Ni, Zn, Pb (полиметаллическая ассоциация);
- 2 фактор – Au, As (золото-мышьяковистая ассоциация);
- 3 фактор – Ag, Pb (серебро-свинцовая ассоциация).

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

Первый фактор, с вкладом 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. Ореолы фактора образуют преимущественно прерывистые линейно вытянутые формы, характеризуясь наименьшей площадью распространения на разведочных разрезах в сравнении с 1 и 3 факторами. 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 ряде случаев – 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-пиритиновая ассоциация, кварц-пирит-сидеритовая ассоциация) допродуктивного этапа выражена в ассоциации элементов, вносящих основной вклад в 3 фактор. 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 крупномасштабном метасоматическом ореоле.

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

В кварц-пирит-арсениопиритовую с золотом стадией минералообразования из растворов золото-мышьяковистого состава кристаллизовались две минеральные ассоциации (фактор 2): кварц-пирит-арсениопиритовая и кварц-сидерит-анкеритовая.

Геохимическая ассоциация рудогенных элементов 1 фактора (Co, Cu, Ni, Zn, Pb) характеризует наиболее интенсивную золото-кварц-полисульфидную стадию (кварц-сфалерит-галенитовая ассоциация, кварц-пирит-халькопирит-блеклорудная с золотом ассоциация, кварц-пирит-анкерит-кальцитовая ассоциация) 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, принимавшие непосредственное участие в формировании минеральных парагенетических ассоциаций в процессе гидротермально метасоматического рудообразования. Полученные данные позволили составить обобщенную модель геохимической зональности

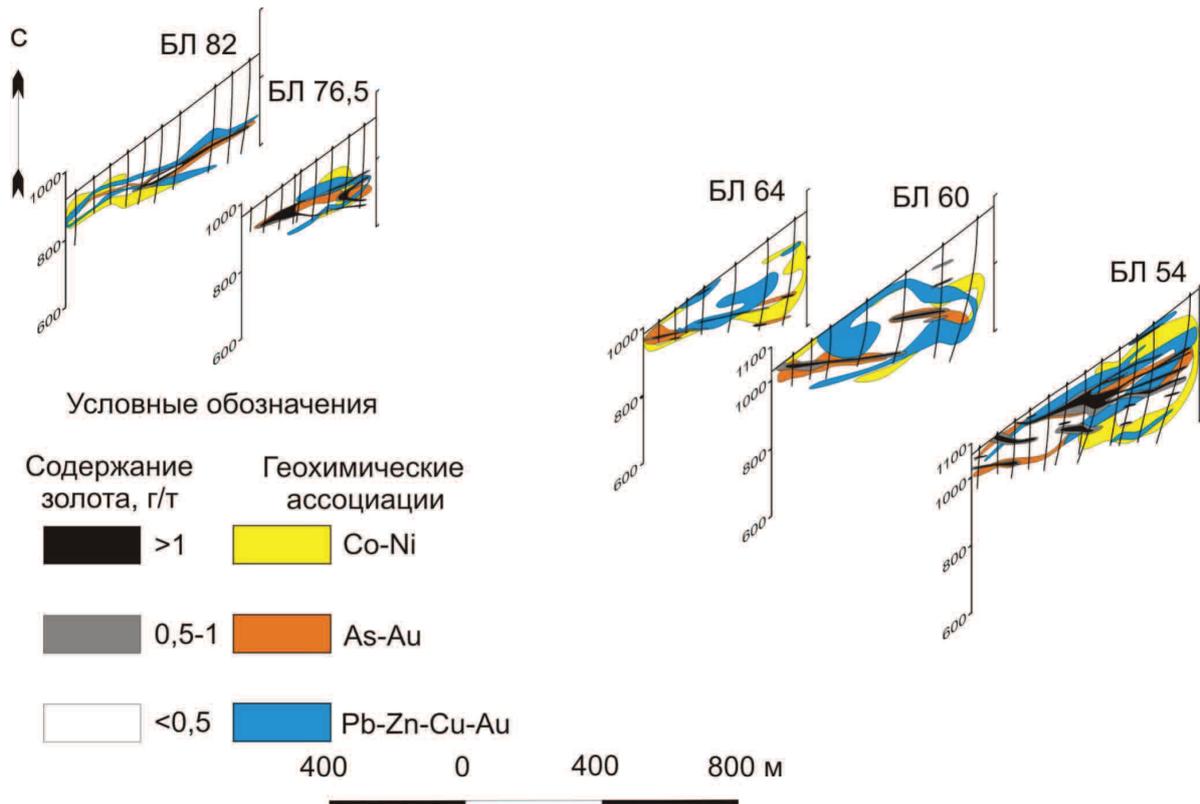


Рис. 4. Объемная структурно-геохимическая модель золоторудного месторождения Западное. 1 – геохимические ассоциации, 2 – контур рудного тела

мезотермального золоторудного месторождения черносланцевой формации (рис. 4).

Стадия отложения ранних сульфидов (кварц-пирротиновая ассоциация, кварц-пирит-сидеритовая ассоциация) 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 продуктивного этапа (кварц-пирит-арсенопиритовая ассоциация, кварц-сидерит-анкеритовая ассоциация) отлагались растворы золото-мышьяковистого состава, которые локализовались в центральной части минерализованной зоны, преимущественно в пределах рудных тел.

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

Выводы

1. Аналогично изученным золоторудным объектам в [5, 9, 21] АСГП месторождения Западное характеризуется концентрически зональным строением. Контрастные геохимические ореолы ассоциаций рудогенных элементов оконтурива-

ют центральную часть (Au-As) и периферию минерализованной зоны (Pb-Zn-Cu-Au и Co-Ni).

- Выделенные геохимические ассоциации и их пространственное положение согласуются со стадийностью минералообразования, разработанной для Сухоложского рудного поля: Co-Ni – стадия отложения ранних сульфидов допродуктивного этапа (кварц-пирротиновая ассоциация, кварц-пирит-сидеритовая ассоциация), Au-As – кварц-пирит-арсенопиритовая с золотом стадия минералообразования продуктивного этапа (кварц-пирит-арсенопиритовая ассоциация, кварц-сидерит-анкеритовая ассоциация), Pb-Zn-Cu-Au – золото-кварц-полисульфидная стадия продуктивного этапа (кварц-сфалерит-галенитовая ассоциация, кварц-пирит-халькопирит-блеклорудная с золотом ассоциация, кварц-пирит-анкерит-кальцитовая ассоциация)
- Результаты обработки геохимических данных, полученные с применением методов непараметрической статистики, позволили существенно уточнить представление о строении крупнообъемного геохимического ореола месторождения Западное.
- Расшифровка АСГП месторождения дает возможность проводить выделение минерализованных зон, выделять минеральные и геохимические ассоциации процесса рудообразования, определять уровень эрозионного среза орудене-

ния как при проведении площадных геохимических съемок, так и в изучаемом объеме недр по результатам горно-буровых работ на площадях с аналогичным типом оруденения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Условия формирования и основы прогноза крупных золоторудных месторождений / М.М. Константинов, В.В. Аристов, М.Е. Вакин, Р.Ф. Данковцев, В.О. Кобышев, Т.Н. Косовец, Н.П. Остроумова, В.К. Политов, Г.С. Симкин, С.Ф. Стружков, В.А. Изотенкова, Н.А. Фогельман, В.М. Яновский // Руды и металлы. – 1999. – № 6. – С. 72b–73.
2. Крупнотоннажные месторождения – ресурс добычи золота в России / М.М. Константинов, С.В. Волков, С.Ф. Стружков, Н.В. Цымбалюк // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 6. – С. 5–11.
3. Геолого-геохимические особенности гигантских месторождений золота в черных сланцах Центральной Азии / М.С. Рафаилович, И.М. Голованов, О.А. Федоренко и др. // Поисквая геохимия: теоретические основы, технологии, результаты. – Алматы: НИИ природных ресурсов ЮГГЕО, 2004. – С. 67–83.
4. Этапы формирования крупномасштабной благороднометаллической минерализации месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь): результаты изотопно-геохронологического изучения / Н.П., Лаверов И.В. Чернышов, А.В. Чугаев, Э.Д. Баирова, Ю.В. Гольцман, В.В. Дистлер, М.А. Юдовская // Доклады РАН. – 2007. – Т. 415. – № 2. – С. 236–241.
5. Ворошилов В.Г. К вопросу о геометризации аномальных структур геохимических полей гидротермальных рудных месторождений // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 84–89.
6. Структура геохимического поля мезотермального золоторудного месторождения Чертово Корято (Северное Забайкалье) / Р.Ю. Гаврилов, И.В. Кучеренко, В.Г. Мартыненко, А.В. Верховин // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 11. – С. 19–24.
7. Григоров С.А. Основы структурной интерпретации геохимических полей рудных объектов для целей их локализации и оценки // Отечественная геология. – 2007. – № 4. – С. 45–52.
8. Чекваидзе В.Б., Милаев С.А. Эндеогенные ореолы сидерофильных элементов золоторудных месторождений // Руды и металлы. – 2009. – № 6. – С. 15–20.
9. Геохимическая зональность рудовмещающего ореола мезотермального золоторудного месторождения Чертово Корято (Патомское нагорье) / Р.Ю. Гаврилов, И.В. Кучеренко, В.Г. Мартыненко, А.В. Верховин // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 1. – С. 42–47.
10. Шер С.Д. Околорудные изменения, сопутствующие золото-кварцевым жилам в Ленском золотоносном районе // Метасоматические изменения боковых пород и их роль в рудообразовании / под ред. Н.И. Наковника. – М.: Недра, 1966. – С. 282–291.
11. Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. – М.: Недра, 1982. – 256 с.
12. Новые данные об условиях рудоотложения и составе рудообразующих флюидов золото-платинового месторождения Сухой Лог / Н.П. Лаверов, В.Ю. Прокофьев, В.В. Дистлер и др. // Доклады РАН. – 2000. – Т. 371. – № 1. – С. 88–92.
13. Гаврилов А.М., Кряжев С.Г. Минералого-геохимические особенности руд месторождения Сухой Лог // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 8. – С. 3–16.
14. Околорудный метасоматизм терригенных углеродистых пород в Ленском золоторудном районе / В.Л. Русинов, О.В. Русина, С.Г. Кряжев и др. // Геология рудных месторождений. – 2008. – Т. 50. – № 1. – С. 3–46.
15. Соотношение процессов метаморфизма и рудообразования на золотом черносланцевом месторождении Сухой Лог по данным U-Th-Pb-изотопного SHRIMP-датирования акцессорных минералов / М.А. Юдовская, В.В. Дистлер, Н.В. Родионов и др. // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53. – № 1. – С. 32–64.
16. Петролого-геохимические черты околорудного метасоматизма в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский район). Ч. 1. Обзор петролого-геохимических исследований рудовмещающего субстрата / И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилов, В.Г. Мартыненко, А.В. Верховин // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 319. – № 1. – С. 35–41.
17. Петролого-геохимические черты околорудного метасоматизма в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский район). Ч. 2. Петрология околорудного метасоматизма / И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилов, В.Г. Мартыненко, А.В. Верховин // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320. – № 1. – С. 28–37.
18. Петролого-геохимические черты околорудного метасоматизма в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский район). Ч. 3. Геохимия золота и серебра / И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилов, В.Г. Мартыненко, А.В. Верховин // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 33–40.
19. Сафронов Н.И., Мещеряков С.С., Иванов Н.П. Энергия рудообразования и поиски полезных ископаемых / под общ. ред. Н.И. Марочкина. – Л.: Недра, 1978. – 215 с.
20. Выборов С.Г., Быстров И.И. Опыт использования комплексного показателя нарушенности геохимического поля для прогнозирования оруденения // Известия вузов. Геология и разведка. – 1990. – № 4. – С. 102–110.
21. Ворошилов В.Г. Аномальные структуры геохимических полей гидротермальных месторождений золота: механизм формирования, методика геометризации, типовые модели, прогноз масштабов оруденения // Геология рудных месторождений. – 2009. – Т. 51. – № 1. – С. 3–19.

Поступила 12.12.2013 г.

STRUCTURE OF GEOCHEMICAL FIELD OF MESOTHERMAL GOLD ORE DEPOSIT ZAPADNOE (LENSK ORE AREA)

Roman Yu. Gavrilov,

Cand. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: GavrilovRY@ignd.tpu.ru

Danil A. Khryapin,

Berezovsk Mine Ltd., 22, Lenin street, Prokopevsk, 653039, Russia.
E-mail: danil-khryapin@yandex.ru

The described research is now becoming even more relevant due to the efficiency improvement of expected gold ore exploration based on sophisticated geochemical information processing and interpretation methods.

The main aim of the study is to investigate geochemical zoning and to identify anomalous geochemical deposit structure within Zapadnoe gold ore deposit for working out addition search criteria to predict gold objects.

The methods used in the study: statistic parameter calculation by nonparametric mathematical statistic method and their further processing through software programs Surfer, Statistica, Corel Draw; semiquantative emission spectral analysis; assay testing.

The results: The authors have studied geochemical zoning of Zapadnoe deposit based on core sampling results from five well exploratory lines. It was ascertained that anomalous structure of geochemical Zapadnoe deposit is of concentric zonal structure. The central area (As-Au) and mineralized periphery (Pb-Zn-Cu-Au и Co-Ni) are contoured by contrasting geochemical haloes of ore-element associations. The identified geochemical associations and their spatial position correlate to mineral formation staging developed for Sukholozhskoe ore deposit. Based on interpretation of deposit geochemical field abnormal structure the authors detected mineralized zone boundaries, selected mineral and geochemical associations of ore formation. The data obtained allowed defining more precisely the structure of bulk geochemical Zapadnoe deposit halo.

Key words:

Gold, Sukholozhskoe ore field, black-shale formation, nonparametric mathematical statistic method, anomalous geochemical field structure.

REFERENCES

1. Konstantinov M.M., Aristov V.V., Vakin M.E., Dankovtsev R.F., Konyshov V.O., Kosovets T.N., Ostroumova N.P., Politov V.K., Simkin G.S., Struzhkov S.F., Izotenkova V.A., Fogelman N.A., Yanovsky V.M. Usloviya formirovaniya i osnovy prognoza krupnykh zolotorudnykh mestorozhdeniy [Formation conditions and fundamentals of predicting large gold-ore deposit]. *Rudy i metallurgy – Ores and metals*, 1999, no. 6, pp. 72b–73.
2. Konstantinov M.M., Volkov S.V., Struzhkov S.F., Tsybalyuk N.V. Krupnotonnazhnye mestorozhdeniya – resurs dobychi zolota v Rossii [Large-capacity deposit is the resource of gold mining in Russia]. *Razvedka i okhrana neдр – Exploring and protection of resources*, 2007, no. 6, pp. 5–11.
3. Rafailovich M.S., Golovanov I.M., Fedorenko O.A. Geologo-geokhimicheskie osobennosti gigantских mestorozhdeniy zolota v chernykh slantsakh Tsentralnoy Azii [Geological and geochemical features of giant gold deposits in black slate]. *Poiskovaya geokhimiya: teoreticheskie osnovy, tekhnologii, rezultaty* [Search geochemistry: theory, technologies, results]. Almaty, NII prirodnykh resursov JuGGEO, 2004. pp. 67–83.
4. Laverov N.P., Chernyshov I.V., Chugaev A.V., Bairova E.D., Goltzman Yu.V., Distler V.V., Yudovskaya M.A. Etapy formirovaniya krupnomasshtabnoy blagorodnometalnoy mineralizatsii mestorozhdeniya Sukhoy Log (Vostochnaya Sibir): rezultaty izotopno-geokhronologicheskogo izucheniya [Stages of forming large-capacity noble metal mineralization of Sukhoy Log deposit (East Siberia): results of isotopic and geochronological study]. *Doklady RAN*, 2007, vol. 415, no. 2, pp. 236–241.
5. Voroshilov V.G. K voprosu o geometrizatsii anomalnykh struktur geokhimicheskikh poley gidrotermalnykh rudnykh mestorozhdeniy [Geometrization of anomalous structures of hydrochemical fields of hydrothermal deposits]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2007, vol. 311, no. 1, pp. 84–89.
6. Gavrilov R.Yu., Kucherenko I.V., Martynenko V.G., Verkhovzin A.V. Struktura geokhimicheskogo polya mezotermalnogo zolotorudnogo mestorozhdeniya Chertovo Koryto (Severnoe Zabaykale) [Geochemical field structure of mesothermal gold-ore deposit Chertovo Koryto (North Transbaikal)]. *Razvedka i okhrana neдр – Exploring and protection resources*, 2010, no. 11, pp. 19–24.
7. Grigorov S.A. Osnovy strukturnoy interpretatsii geokhimicheskikh poley rudnykh obektov dlya tseyey ikh lokalizatsii i otsenki [Fundamentals of structural interpretation of ore object geochemical fields for their localization and evaluation]. *Otechestvennaya geologiya*, 2007, vol. 4, pp. 45–52.
8. Chekvaizhe V.B., Milyaev S.A. Endogennyye oreoly siderofilnykh elementov zolotorudnykh mestorozhdeniy [Endogenous aureole of siderophilic elements of gold deposits]. *Rudy i metallurgy – Ores and metals*, 2009, no. 6, pp. 15–20.
9. Gavrilov R.Yu., Kucherenko I.V., Martynenko V.G., Verkhovzin A.V. Geokhimicheskaya zonalnost rudovmeshchayushchego oreola mezotermalnogo zolotorudnogo mestorozhdeniya Chertovo Koryto (Patomskoe nagore) [Geochemical zonality of ore-containing halo of Chertovo Koryto mesothermal gold-ore deposit (Patom upland)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 319, no. 1, pp. 42–47.
10. Sher S.D. Okolorudnyye izmeneniya, soputstvuyushchie zolotokvartsevym zhilam v Lenskom zolotonosnom rayone [Wallrock alteration, associating gold-quartz veins in Lena gold district]. *Metasomaticheskie izmeneniya bokovykh porod i ikh rol v rudoobrazovanii* [Metasomatic changes of wall rocks and their part in ore formation]. Ed. N.I. Nakovnik. Moscow, Nedra Publ., 1966. pp. 282–291.
11. Buryak V.A. *Metamorfizm i rudoobrazovanie* [Metamorphism and ore formation]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 256 p.
12. Laverov N.P., Prokofev V.Yu., Distler V.V. Novyye dannyye ob usloviyakh rudoobrazovaniya i sostave rudoobrazuyushchikh flyuidov zoloto-platinovogo mestorozhdeniya Sukhoy Log [Up-to-

- date information on ore deposition condition and ore-forming fluid composition of gold-platinum deposit Sukhoy Log]. *Doklady RAN*, 2000, vol. 371, no. 1, pp. 88–92.
13. Gavrilov A.M., Kryazhev S.G. Mineralogo-geokhimicheskie osobnosti rud mestorozhdeniya Sukhoy Log [Ore mineral-geochemical features of Sukhoy Log deposit]. *Razvedka i okhrana nedr – Exploring and protection resources*, 2008, no. 8, pp. 3–16.
 14. Rusinov V.L., Rusinova O.V., Kryazhev S.G. Okolorudnyy metasomatizm terrigennykh uglerodistykh porod v Lenskom zolotorudnom rayone [Wall-rock metasomatism of carbonaceous terrigenous rocks in the Lena gold district]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy – Geology of ore deposit*, 2008, vol. 50, no. 1, pp. 3–46.
 15. Yudovskaya M.A., Distler V.V., Rodionov N.V. Sootnoshenie protsessov metamorfizma i rudoobrazovaniya na zolotom chernoslantsevom mestorozhdenii Suhoy Log po dannym U-Th-Pb-izotopnogo SHRIMP-datirovaniya aktsessornykh mineralov [Therate of metamorphism and ore formation at the Sukhoi Log gold deposit hosted in black slates according to the data of U-Th-Pb isotopic SHRIMP-dating of accessory minerals]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy – Geology of ore deposit*, 2011, vol. 53, no. 1, pp. 32–64.
 16. Kucherenko I.V., Gavrilov R.Yu., Martynenko V.G., Verhozin A.V. Petrologo-geokhimicheskie cherty okolorudnogo metasomatizma v zolotorudnom mestorozhdenii Sukhoy Log (Lenskiy rayon). [Petrology-geochemical features of wall-rock metasomatism in gold deposit Sukhoy Log (Lena district)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 319, no. 1, pp. 35–41.
 17. Kucherenko I.V., Gavrilov R.Yu., Martynenko V.G., Verhozin A.V. Petrologo-geokhimicheskie cherty okolorudnogo metasomatizma v zolotorudnom mestorozhdenii Suhoy Log (Lenskiy rayon) [Petrology-geochemical features of wall-rock metasomatism in gold deposit Sukhoy Log (Lena district)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 320, no. 1, pp. 28–37.
 18. Kucherenko I.V., Gavrilov R.Yu., Martynenko V.G., Verhozin A.V. Petrologo-geokhimicheskie cherty okolorudnogo metasomatizma v zolotorudnom mestorozhdenii Suhoy Log (Lenskiy rayon) [Petrology-geochemical features of wall-rock metasomatism in gold deposit Sukhoy Log (Lena district)]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. no. 1, pp. 33–40.
 19. Safronov N.I., Meshcheryakov S.S., Ivanov N.P. *Energiya rudoobrazovaniya i poiski poleznykh iskopaemykh* [Ore formation energy and mineral exploration]. Ed. N.I. Marochkin. Leningrad, Nedra Publ., 1978, 215 p.
 20. Vyborov S.G., Bystrov I.I. Opyt ispolzovaniya kompleksnogo pokazatelya narushennosti geokhimicheskogo polya dlya prognozirovaniya orudneniya [Experience in using composite indicator of geochemical field fracturing to predict mineralization]. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 1990, no. 4, pp. 102–110.
 21. Voroshilov V.G. Anomalnye struktury geokhimicheskikh poley gidrotermalnykh mestorozhdeniy zolota: mekhanizm formirovaniya, metodika geometrizatsii, tipovye modeli, prognoz masshtabnosti orudneniya [Anomalous structures of geochemical fields of hydrothermal gold deposits: formation mechanism, methods of geometrization, typical models, and forecasting of ore mineralization]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy – Geology of ore deposit*, 2009, vol. 51, no. 1, pp. 3–19.