

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров, Д.Г. К вопросу о систематизации геологических объектов с позиций теории информации // Д.Г. Егоров // Отечественная геология. — 1995. — № 12. — С. 70–73.
2. Жуков, Р.А. Проблема выделения объектов исследования в геологии / Р.А. Жуков, В.В. Груза, Ю.Р. Ткачев / Тр. ВСЕГЕИ, нов. серия. — Т. 223. — Вып. 3. — 1975. — С. 14–26.
3. Косыгин, Ю.А. Проблемы классификации и стандартизации геологической документации / Ю.А. Косыгин, А.Ю. Одинец, В.А. Ожогин и др. / Разработка и создание АСУ-геология. — Вып. 7. — М.: ВИЭМС, 1980. — 56 с.
4. Краснов, В.И. Рассуждения о теории стратиграфии / В.И. Краснов — Новосибирск, СНИИГиМС, 2014. — 182 с.
5. Металлогенический кодекс России. — М.: Геокарт- ГЕОС, 2012. — 126 с.
6. Морозов, А.Ф. Тектонический кодекс России: содержание, назначение, применение / А.Ф. Морозов, Н.В. Межеловский // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 12. — С. 3–12.
7. Петров, О.В. Геологический словарь / О.В. Петров, В.Л. Масайтис, И.А. Неженский и др. // Отечественная геология. — 2011. — № 2. — С. 98–102.
8. Проблемы развития советской геологии / Тр. ВСЕГЕИ, нов. серия. — Т. 177. — 1971. — 335 с.
9. Рудность и геологические формации структур земной коры / Под ред. Д.В. Рундквиста. - Л.: Недра, 1981. — 423 с.
10. Соболев, А.Е. К вопросу о разработке универсальной классификации рудных формаций / А.Е. Соболев // Региональная геология и металлогения. — 2008. — № 35. — С. 98–104.
11. Шарапов, И.П. Метагеология: некоторые проблемы / И.П. Шарапов. — М.: Наука, 1989. — 208 с.
12. Щеглов, А.Д. Современное состояние теоретических основ металлогении / А.Д. Щеглов. — Л.: АН СССР, 1989. — 24 с.

© Голоудин Р.И., 2017

Голоудин Равиль Иванович //goloudin@mail.ru

УДК 553.411.071

Неволько П.А., Фоминых П.А. (Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН)

ОПЫТНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ГАЗОРТУТНАЯ СЪЕМКА НА НОВОЛУШНИКОВСКОМ ЗОЛОТОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (САЛАЙРСКИЙ КРЯЖ)

*Детальное изучение минерального состава руд Новолушниковского месторождения золота и определение химического состава рудных минералов показало наличие ртуть-содержащих блеклых руд и самородного золота. Значительные концентрации ртути в этих минералах (до 20 масс.%) послужили предпосылкой для проведения опытно-методической газортутной съемки на площади месторождения. Полученные данные служат доказательством высокой эффективности газортутного атмосферохимического метода. **Ключевые слова:** золото, Новолушниковское месторождение, газортутный метод.*

Nevalko P.A., Fominykh P.A. (Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS)

PILOT-METHODICAL MERCURY VAPOR ANALYSIS SHOOTING AT THE NOVOLUSHNIKOVSKOE GOLD DEPOSIT (SALAIR RIDGE)

A detailed study of the mineral composition of the Novolushnikovskoe gold deposit and determination of the chemical composition of the ore minerals showed the presence of Hg-

*bearing fahlores and native gold. Significant concentrations of Hg in these minerals (up to 20 wt. %) served as a prerequisite for development of methodical Mercury Vapor Analysis shooting at the deposit area. Results are evidence of high efficiency Mercury Vapor Analysis atmospheric geochemical method. **Keywords:** gold, Novolushnikovskoe deposit, Mercury Vapor Analysis method.*

Геохимические литохимические методы поисков играют существенную роль в комплексе геологических и геофизических исследований при поисковых работах на твердые полезные ископаемые. Однако наличие аллохтонных отложений существенно ограничивает возможности геохимических методов при поисках погребенных и скрыто-погребенных месторождений. Гидрогеохимические и биогеохимические методы также имеют пока серьезные ограничения для решения подобных поисковых задач. Атмохимические методы в силу высокой скорости миграции газовых компонентов от глубинного источника к поверхности Земли обладают большой потенциальной возможностью увеличения глубинности и повышения эффективности поисков глубокозалегающих месторождений.

Основной атмохимических методов является естественный процесс «дыхания» месторождений, который начинается при их рождении и заканчивается при полном разрушении залежей. Благодаря этому процессу над месторождениями, находящимися в открытом, погребенном, слепом и скрыто-погребенном залегании, образуются атмохимические ореолы рассеяния в перекрывающих породах, подпочвенной, почвенной и приземной атмосфере [1].

Атмохимические методы были предложены и применены впервые в СССР в 1930—1933 гг. для поисков нефтяных и газовых месторождений. После сложного и длительного развития газовые методы заняли важное место в комплексе поисковых работ на нефть и газ наряду с геологическими и геофизическими исследованиями.

Газортутный метод в России разрабатывался и совершенствовался в ИМГРЭ В.З. Фурсовым. Результаты его работ наиболее полно изложены в монографиях [8, 11] и ряде статей в ведущих отечественных геологических журналах [9, 10]. Отдельные аспекты методики и примеры газортутной съемки описаны Ю.Д. Жеребцовым с соавторами [4]. Также технологии газортутной съемки с использованием анализатора РА-915+ были апробированы в пределах ртутно-серебряного рудного поля Имистер (Марокко) [5].

Газортутный метод поисков скрытого оруденения является одним из наиболее эффективных и доступных. В настоящее время атмохимические методы поисков рудных месторождений преимущественно используются при опытных и опытно-производственных исследованиях и еще не приобрели существенного значения в комплексе поисковых геохимических работ. Этому препятствуют недостаточная теоретическая и методическая разработка атмохимических исследований, а также слабость технических средств измерений. Однако в последнее время в связи с бурным

развитием компактной и высокопроизводительной вычислительной техники разработаны, серийно выпускаются и активно совершенствуются портативные газортутные атомно-абсорбционные анализаторы (например, используемый авторами аналитический комплекс РА-915М производства Санкт-Петербургской НПФ АП «Люмэкс»).

Глубинность газортутного метода, экспрессность получения результатов, их геологическая информативность, возможность проведения аэрогеохимических исследований — все это определяет актуальность развития аппаратуры и методики прямых определений содержания ртути в приземной атмосфере.

Ртутный аналитический комплекс РА-915М представляет собой самую современную разработку и по совокупности своих аналитических характеристик не имеет мировых аналогов. Передовые технологии, используемые при производстве комплекса, гарантируют его исключительную надежность и придают ему множество функциональных возможностей. Оригинальная оптико-электронная схема комплекса обладает низким пределом обнаружения ртути в режиме прямых измерений (без предварительного концентрирования), высокой селективностью анализа и широким динамическим диапазоном измерений. Диапазон измерений массовой концентрации паров ртути в воздухе составляет 20–20000 нг/м³. Аналитический комплекс рассчитан на работу в лабораторных и полевых условиях.

В работе прибора используется принцип атомно-абсорбционной спектроскопии с зеемановской коррекцией неселективного поглощения. Многоходовая кювета с эффективной длиной пути 9,6 м обеспечивает высочайшую чувствительность измерений. Оригинальная схема зеемановской коррекции неселективного поглощения позволяет получить высокую точность измерений независимо от мешающих факторов: пыли, аэрозолей, поглощающих паров и газов.

Краткая информация о Новолушниковском месторождении

Северо-Западный Салаир — старейший золотоносный район России (рис. 1). Еще в прошлом столетии здесь были открыты золотоносные кварцевые жилы и россыпи. На современном этапе изученности в регионе выделяется три рудоносные площади: Егорьевская, Полднево-Тайлинско-Иковская и Легостаевская [3]. В пределах площадей известны эндогенные, элювиальные и россыпные месторождения золота, большое число проявлений, пунктов минерализации, геохимических и шлиховых ореолов и потоков [6]. Всю совокупность эндогенной золотоносной минерализации Северо-Западного Салаира можно объединить в две группы: собственно золоторудную и золотосодержащую. Первая группа представлена золотокварцевой, золотосульфидно-кварцевой, золотосульфидной, золотосурьмяной и золотортутной, а вторая — колчеданно-(барит)-полиметаллической рудными формациями [6].

Эталонным объектом золото-сульфидно-кварцевой формации в районе является Новолушниковское ме-

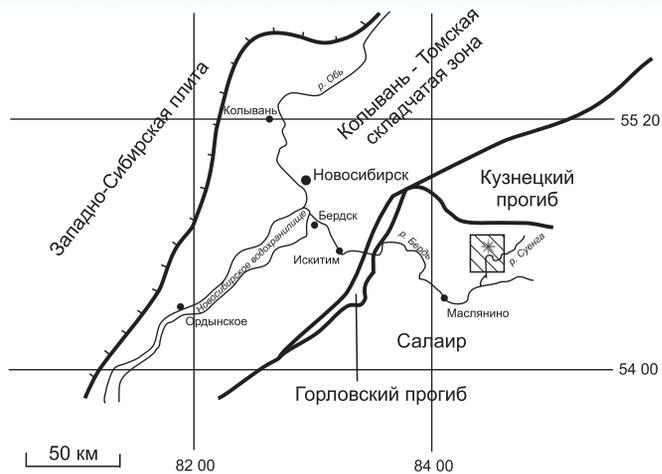


Рис. 1. Обзорная схема тектонического районирования области сочленения Кольвань-Томской складчатой зоны и Салаира. Заштрихованная область — Егорьевский золоторудный узел, звездочка — Новолушниковское месторождение золота

сторождение. С учетом материалов предшественников [2, 3, 6, 7] нами было обосновано выделение трех минерало-геохимических ассоциаций — Bi-Cu-Mo, Au-As и Au-Te.

Месторождение Новолушниковское было открыто еще в 1895 г., тогда оно получило название Жила № 13. На протяжении всего столетия после открытия здесь неоднократно проводились поисковые и оценочные работы. По архивным данным известно, что некоторые пробы кварца из рудопроявления характеризовались содержаниями золота до 540 г/т.

В ходе поисковых работ (1983–1988 гг.) было установлено, что выявленная ранее кварцевая жила залегает в мощной толще оруденелых пород суенгинской свиты нижнего кембрия, находящихся в экзоконтакте скрытого гранитоидного интрузива (рис. 2). В период 1987–1990 гг. была пройдена серия наклонных скважин глубиной от 218 до 706 м. По результатам работ установлено, что золотое оруденение на участке Жила № 13 связано не только с кварцево-жильным проявлением, но и с вмещающими их метасоматически преобразованными породами суенгинской свиты. Кварцево-жильная минерализация представлена серией линзующихся жил и прожилков мощностью от нескольких сантиметров до 2 м (одна из них и есть собственно Жила № 13), образующих линейные штокверки северо-западного и субширотного простирания. Ореол околожильных метасоматитов имеет мощность от десятков сантиметров до первых метров при общей мощности метасоматических залежей 20–30 м и более.

Отдельные аспекты геологического строения, минерального состава и типоморфных особенностей самородного золота в той или иной мере были опубликованы в ряде монографий [2, 3, 6, 7]. Жила № 13 по прогнозным ресурсам отнесена к категории средних месторождений по запасам золота и получила название Новолушниковское месторождение. На сегодняшний день прогнозные ресурсы золота кат. P₁₊₂

оценены в 24 т, в том числе P_1 — 8,3 т и P_2 — 15,7 т. При расчете прогнозных ресурсов среднее содержание золота по жилам принято равным 6,7 г/т, а по прожилково-вкрапленным зонам — 4 г/т [6].

На месторождении выделяются два морфоструктурных типа золотого оруденения. Первый — это линейные штокверки северо-западного простирания, залегающие согласно с напластованием и общим простиранием пород. Пространственно они тяготеют к телам линейных согласных метадиоритов, образованных по телам диоритовой формации, а также к телам метасоматитов, образованных по стратифицированным отложениям суенгинской свиты. Рудные зоны этого типа прослеживаются по простиранию и падению на десятки и сотни метров (рис. 2).

Оруденение второго типа представлено линейными штокверками, связанными с трещинной тектоникой и приуроченными к системам параллельных трещин (зонам дробления, брекчирования, мощного расщепления), оперяющих нарушения северо-западного простирания, имеющих, судя по всему, рудоконтролирующее значение. Как правило, это те же линейные кварцево-жильные штокверки в ореоле рудоносных метасоматитов, образующие серию параллельных сквозных зон субширотного простирания (азимут $100-110^\circ$) с падением на северо-восток под углами $45-55^\circ$ и секущие напластование пород суенгинской свиты (рис. 2). Метасоматиты, вмещающие рудные зоны второго типа, характеризуются более высокой степенью проработки, обильными проявлениями сульфидной и кварцево-жильной минерализации.

Среднее содержание золота в рудах жильного типа составляет 6,7 г/т, а в сульфидизированных метасоматитах — 4 г/т [6]. Кроме того отмечаются повышенные содержания и ряда других элементов, однако их концентрации не представляют промышленного интереса.

Всего на месторождении насчитывается порядка 20 рудных минералов. Главными из них являются пирит (FeS_2), пирротин (FeS), арсенопирит ($FeAsS$), халькопирит ($CuFeS_2$); второстепенными — блеклая руда ($Cu_{12}(Sb,As)_4S_{13}$), сфалерит (ZnS), галенит (PbS), молибденит (MoS_2). Редкие минералы представлены тетрадимитом (Bi_2Te_2S), алтаитом ($PbTe$), колорадоитом ($HgTe$), вольтинитом ($AgBiTe_2$), гесситом (Ag_2Te), эмпресситом ($AgTe$), айкинитом ($PbBiCuS_3$), висмутином (Bi_2S_3), самородными висмутом (Bi^0) и золотом (Au^0).

Не останавливаясь на детальном рассмотрении особенностей рудных

минералов, выявленных на Новолушниковском месторождении, упомянем, что ртуть в том или ином количестве входит в состав трех минералов: блеклая руда переменного состава, самородное золото и колорадоит.

Блеклые руды распространены в рудах месторождения достаточно широко. Они проявлены в виде вкрапленников неправильной формы в основной массе метасоматитов всех типов, а также в секущих их кварцевых жилах. Причем в последних блеклые руды являются одним из наиболее широко распространенных минералов. По химическому составу блеклые руды Новолушниковского месторождения можно разделить на два типа. Первый тип представлен вкрапленниками неправильной формы зерен и агрегатов в основной массе метасоматитов. По составу он отвечает промежуточному члену ряда теннантит — тетраэдрит, отношение $Sb/(Sb+As)$ варьирует в диапазоне от 0 до 0,9. Из примесей характерны незначительные содержания Cd — до 0,2 масс.%. Содержание (в масс.%) железа от 1 до 8, в среднем 2,41; Zn — от 3 до 9, в среднем 6. Блеклые руды этого состава приурочены к золотоносным зонам северо-западного простирания.

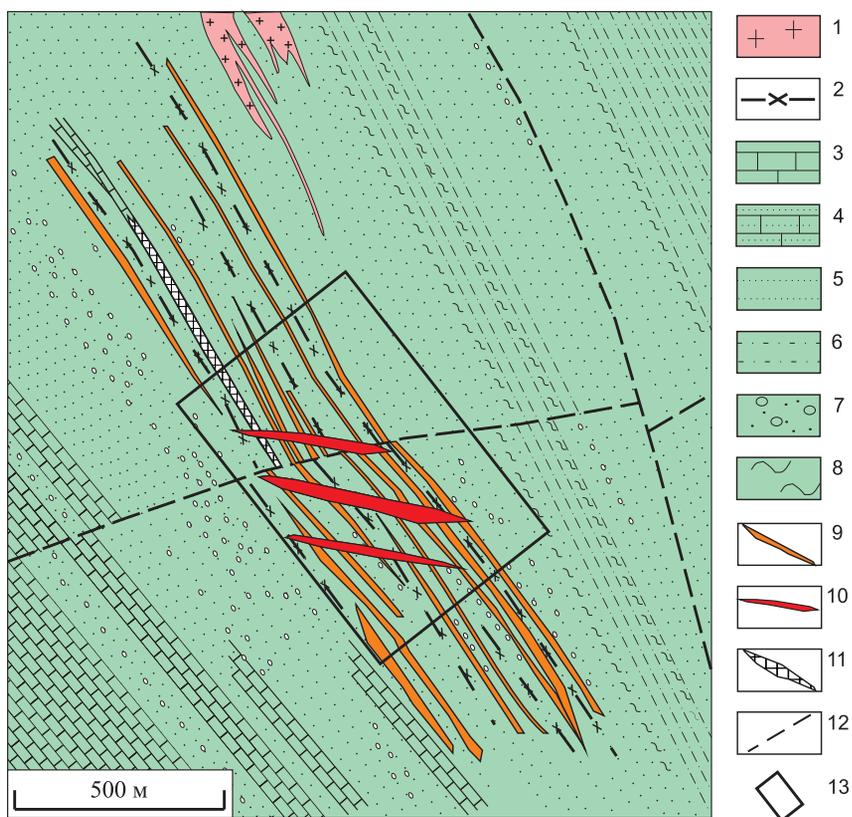


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Новолушниковского месторождения (по материалам Новосибирской геолого-поисковой экспедиции): 1 — плагиограниты Новолушниковского комплекса; 2 — диориты и метадиориты Тайлинского комплекса; 3 — 8 — нижнекембрийские отложения суенгинской свиты: 3 — известняки, 4 — песчанистые известняки, 5 — песчаники, 6 — алевролиты, 7 — гравелиты, конгломераты, 8 — хлорит-серицитовые сланцы; 9 — субсогласные рудные тела первого морфоструктурного типа; 10 — рудные тела субширотного простирания; 11 — скарны и скарноиды; 12 — разрывные нарушения; 13 — контур опытно-методической газортутной съемки

Второй тип блеклых руд распространен исключительно в секущих жилах субширотного простирания. Состав блеклых руд отвечает тетраэдриту с незначительной примесью мышьяка. Для таких блеклых руд характерно высокое содержание (в масс.%): Ag — до 10; Hg — до 17,56; Te — до 1,22; Cd — до 3; Bi — до 1, а также пониженные концентрации меди — до 30, в среднем около 25. В экзогенных условиях минералы семейства блеклых руд не устойчивы и подвержены процессам интенсивного окисления. В зоне гипергенеза на поверхности они замещаются ковелином, малахитом, азурином, а в случае замещения ртуть-содержащих блеклых руд по ним формируется также землистый агрегат киновари.

Типоморфные особенности и химический состав *самородного золота* Новолушниковского месторождения частично рассматривались в работах [6, 7]. Состав самородного золота из различных типов метасоматитов и кварцевых жил был изучен нами на представительной выборке (около 200 замеров золотин). Наши исследования показали, что самородное золото из метасоматитов северо-западного простирания, тяготеющее к арсенипиритовой минерализации, характеризуется нешироким диапазоном пробности (870–990 ‰), незначительной примесью Hg — до 2,5 масс.% и полным отсутствием меди.

Пробность самородного золота из секущих кварцевых жил варьирует в широком диапазоне от 700 до 970 ‰. Отличительной чертой является высокое содержание ртути, до 20 масс. %. Причем намечается определенная закономерность — самородное золото в ассоциации с Hg-Ag-содержащими блеклыми рудами характеризуется более высокой пробностью, а расположенное обособленно в виде прожилков в кварце — пониженной пробностью и высокими содержаниями серебра и ртути.

Колорадоит представлен единичными зернами размером до 30 мкм и диагностирован только в кварцевожилковой минерализации.

Таким образом, детальное изучение минерального состава руд и особенностей химизма рудных минералов позволило сделать важное заключение о приуроченности ртуть-содержащей минерализации к кварцевым жилам субширотного простирания. Именно дискретность химического состава блеклых руд и самородного золота послужила предпосылкой для постановки опытно-методической газортутной съемки на Новолушниковском месторождении.

Результаты опытно-методической газортутной съемки

В 2016 г. была проведена опытно-методическая газортутная съемка по сети 100×20 м, профили были заложены в крест рудным телам. Пробы почвенного воздуха отбирались с шагом 20 м из лунки диаметром до 10 см и глубиной до 100 см, крайние точки профилей привязы-

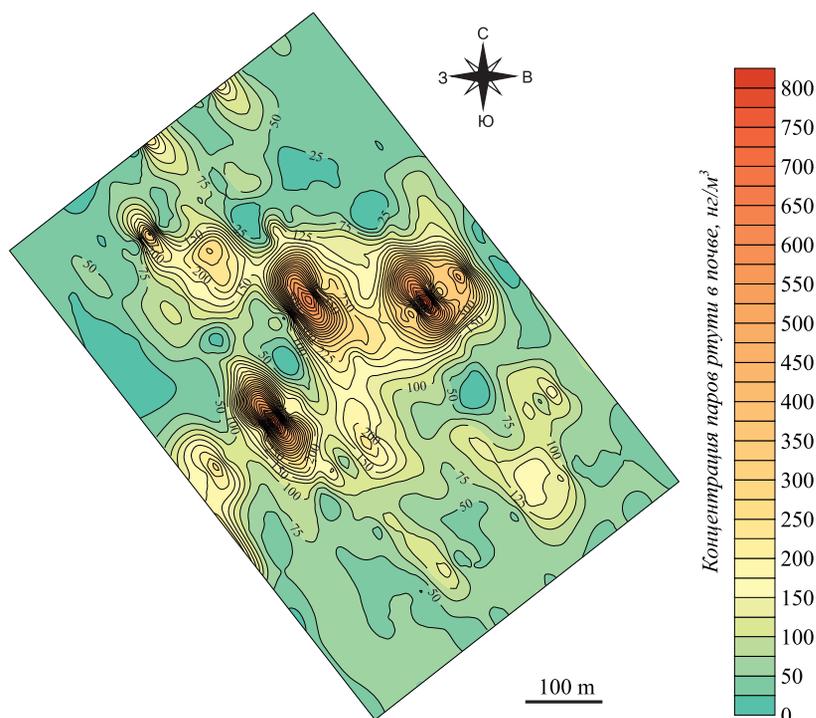


Рис. 3. Карта аномалий концентрации паров ртути. Значения приведены в абсолютной концентрации, в нг/м^3

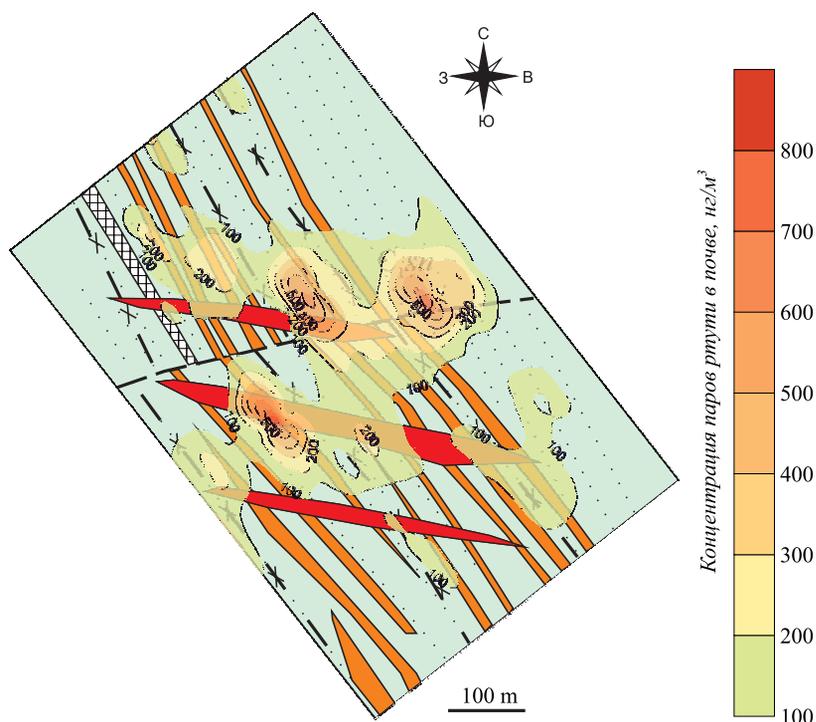


Рис. 4. Карта аномалий концентрации паров ртути со значениями более 100 мг/м^3 , совмещенная с фрагментом схематической геологической карты Новолушниковского месторождения. Усл. обозначения см. на рис. 2

вались с помощью GPS. Все лунки полностью проходили почвенный покров и достигали подстилающих слоев, состоящих преимущественно из глин или суглинков. При опробовании почвенного воздуха производилось три 10-секундных замера концентрации ртути, усредненное значение которых было положено в основу выделения аномалий. Для определения фонового содержания были выполнены замеры содержания паров ртути на удалении от месторождения. По совокупности 15 замеров на различном удалении от района работ среднее фоновое содержание было принято за 20 нг/м³.

Статистически разброс концентраций ртути в пригрунтовой атмосфере всех 243 замеров составлял от 19 до 816 нг/м³ (в среднем 95 нг/м³) при стандартном отклонении 104 нг/м³. Отбраковка аномально высоких значений, связанных с техногенным влиянием, очень важна при статистической обработке наборов измерений. Таким статистически неверным, по данным наших замеров, является значение в 1 точке, расположенной вблизи отвала, обрабатываемой в прошлом столетии штольни (концентрация паров ртути 3616 нг/м³).

После отбраковки аномально высоких значений, связанных с антропогенным фактором, была построена карта концентраций паров ртути. Полученные данные свидетельствуют об общем повышенном фоне для района месторождения (рис. 3). Кроме того, был выделен ряд контрастных аномалий (значения в точках измерений более 100), положение которых в полной мере соответствует проекции на дневную поверхность кварцевых жил субширотного простирания, несущих золотое оруденение с повышенным содержанием ртути (рис. 4). В целом значения концентрации паров ртути над скрытыми рудными телами превышают фоновые более чем на порядок.

Таким образом, проведенная опытно-методическая газортутная съемка на площади Новолушниковского месторождения показала высокую эффективность при обнаружении скрытых рудных тел. Применение геохимических методов поиска с учетом их оперативности и низкой себестоимости может существенно облегчить поисковые работы на месторождениях цветных и благородных металлов, в рудах которых в той или иной степени проявлена ртутная минерализация.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № 0330-2016-0001.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабкин, В.А. Методические рекомендации по газортутному методу поисков рудных месторождений // В.А. Бабкин, В.П. Радзин, В.З. Фурсов. — М.: ИМГРЭ, 1985. — 128 с.
2. Геодинамика, магматизм и металлогения Кольвань-Томской складчатой зоны / Сотников В.И., Федосеев Г.С., Кунгурцев Л.В. и др. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1999. — 227 с.
3. Геологическое строение и полезные ископаемые Западной Сибири. Т. II. Полезные ископаемые / Науч. ред. Н.А. Росляков, В.Г. Свиридов. ОАО «Новосибирскгеология». — Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1998. — 254 с.
4. Жеребцов, Ю.Д. Технология ртутнометрических поисков рудных месторождений / Ю.Д. Жеребцов, М.И. Политиков, В.Ю. Сикорский. — М.: Недра, 1992. — 176 с.
5. Критерии прогноза промышленного оруденения в рудном поле Имистер (Марокко) / Отв. ред. акад. РАН В.В. Ярмолюк. — Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2013. — 272 с.

6. Росляков, Н.А. Минерагения области сочленения Салаира и Кольвань-Томской складчатой зоны / Н.А. Росляков, Ю.Г. Щербаков, Л.В. Алабин и др. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2001. — 243 с.

7. Рослякова, Н.В. Геохимические индикаторы при поисках и прогнозной оценке золотого оруденения // Геохимические поиски по первичным ореолам / Н.В. Рослякова, С.Б. Бортникова, Н.Е. Радостева и др. — Новосибирск: Наука, 1983. — С. 57–63.

8. Фурсов, В.З. Газортутный метод поисков месторождений полезных ископаемых / В.З. Фурсов. — М.: Наука, 1983. — 206 с.

9. Фурсов, В.З. Газовый процесс формирования наложенных ореолов месторождений на примере ртути / В.З. Фурсов. // Докл. РАН. — 1996. — № 3. — С. 390–392.

10. Фурсов, В.З. Ртутная атмосфера природных и антропогенных зон // Геохимия. — 1997. — № 6. — С. 644–652.

11. Фурсов, В.З. Возможности ртутнометрии / В.З. Фурсов. — М.: Изд-во ИМГРЭ, 1998. — 188 с.

© Неволько П.А., Фоминых П.А., 2017

Неволько Петр Александрович // nevolko@igm.nsc.ru
Фоминых Павел Андреевич // fominikhpa@igm.nsc.ru

УДК 549:553.5 (59)

Быстров И.Г. (ФГБУ «ВИМС»), Петроченков Д.А. (МГРИ-РГГРУ)

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАКОВИНЫ НАУТИЛУСА

*Приведены результаты детальных исследований строения раковины наутилуса комплексом минералого-аналитических методов, включающих оптическую микроскопию, рентгенографический (РКФА), электронно-микроскопический (РЭМ, ПЭМ) и электронно-зондовый (РСМА) анализы. Структура раковин на нанометровом уровне изучена методами рентгеновской дифракции (XRD) и малоуглового рассеяния на синхротронном источнике (SAXS). Определены геммологические характеристики раковин. **Ключевые слова:** наутилус, структура, арагонит, биополимер.*

Bystrov I.G. (VIMS), Petrochenkov D.A. (MGRI-RGGRU)
MINERALOGICAL FEATURES OF THE NAUTILUS SINK

*The article presents the results of detailed studies of the structure of the nautilus shell with a complex of mineralogical-analytical methods, including optical microscopy, X-ray diffraction, electron microscopy and electron probe analysis. The structure of the shells at the nanometer level has been studied by X-ray diffraction (XRD) and small-angle scattering at the synchrotron source (SAXS). Gemmological characteristics of the shells are determined. **Keywords:** nautilus, structure, aragonite, biopolymer.*

Раковины наутилусов с давних времен высоко ценились за качественный перламутр и эффектную форму. Их традиционно использовали для изготовления чаш и кубков. В настоящее время на мировом рынке также широко представлены как раковины наутилусов, так и изделия из них, в связи с чем возникла необходимость изучения их структурных, минералогических и геммологических характеристик.

Наутилусы образуют подкласс Nautiloidea, который относится к классу Cephalopoda (головноногие). Nauti-