



Оригинальная статья / Original article

УДК 553.411.071

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2019-42-4-388-412>

Новые данные о геолого-структурных особенностях золоторудных месторождений Ожерелье, Ыканское, Угахан и Голец Высочайший

© В.Н. Бабьяк^a, А.В. Блинов^b, Ю.И. Тарасова^c, А.Е. Будяк^d

^aПАО «Высочайший», г. Москва, Россия

^{a,b,c,d}Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, Россия

^cИркутский научный центр СО РАН, г. Иркутск, Россия

Резюме: В статье проведено сопоставление действующих золоторудных месторождений, разрабатываемых компанией ПАО «Высочайший» по геолого-минералогическим и геохимическим параметрам с целью выявления закономерностей распределения золотого оруденения в каждом из них. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: изучение и анализ данных глубокого бурения с целью выявления геолого-структурных особенностей месторождений; определение минералогического состава руд; выявление новых, перспективных, участков месторождений (слепые рудные залежи, не выявленные на стадии разведки). Была создана единая информационная база данных фактического материала по всем месторождениям. Анализ данных проводился при помощи средств компьютерного моделирования и 3D-анализа (пакеты геоинформационных систем Micromine, Leapfrog). По результатам анализа данных были выделены рудные тела месторождений, не выходящие на дневную поверхность. Данные рудные тела в основной своей массе залегают в слабометаморфизованных углеродсодержащих терригенных и терригенно-карбонатных породах и представляют собой пологопадающие субсогласные рудовмещающим породам зоны с золото-кварц-сульфидной минерализацией. Было выявлено каскадное строение месторождения Угахан, которое осложнено системами разрывных нарушений, что привело к обнаружению новых рудных участков и позволило предположить наличие потенциально рудных блоков. Это суммарно дало значительный эффект наращивания минерально-сырьевой базы месторождения (на 25 % по ресурсам в золотом эквиваленте). По месторождению Голец Высочайший рудная зона была продолжена на восток-юго-восток и северо-запад участка. Было подтверждено предположение о наличии золоторудного участка (более 5 т) в карбонатной пачке угаханской свиты, которая, по мнению предшественников, считалась бесперспективной на благороднометалльное оруденение.

Ключевые слова: золото, Бодайбинский район, черносланцевые толщи, месторождения Голец Высочайший, Угахан, Ыканское, Ожерелье, метаморфизм, рудные блоки, компания ПАО «Высочайший»

Благодарности: Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по Проекту IX.130.3.1. № 0350-2019-0010. Работа выполнена с использованием научного оборудования ЦКП «Изо-топно-геохимических исследований» Института геохимии СО РАН (г. Иркутск).

Информация о статье: Дата поступления 4 ноября 2019 г.; дата принятия к печати 2 декабря 2019 г.; дата онлайн-размещения 30 декабря 2019 г.

Для цитирования: Бабьяк В.Н., Блинов А.В., Тарасова Ю.И., Будяк А.Е. Новые данные о геолого-структурных особенностях золоторудных месторождений Ожерелье, Ыканское, Угахан и Голец Высочайший. *Науки о Земле и недропользование*. 2019. Т. 42. № 4. С. 388–412. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2019-42-4-388-412>

New data on the geological and structural features of the Ozhereliye, Ykanskoeye, Ugahan and Golets Vysochaishy gold fields

© Valery N. Babyak^a, Anton V. Blinov^b, Julia I. Tarasova^c, Alexander E. Budyak^d

^aGV Gold (Vysochaishy, PJSC), Moscow, Russia

^{a,b,c,d}Vinogradov Institute of Geochemistry, SB RAS, Irkutsk, Russia

^cIrkutsk Scientific Center, SB RAS, Irkutsk, Russia

Abstract: The article presents the comparison of the geological-mineralogical and geochemical parameters of the existing gold ore fields that are being developed by GV Gold, with the purpose to identify the gold mineralization



distribution patterns for each field. To achieve the above goal, the following has been accomplished within the frames of the work. The deep drilling data have been studied and analyzed to reveal the geological-structural features of the fields; the ore mineralogical composition has been determined; new promising sites have been revealed ('blind' ore deposits not identified at the prospecting stage). A consolidated database for the factual data on all the fields has been created. The data has been processed by means of computer modeling and 3D-analysis (GIS packages Micromine and Leapfrog). Based on the analysis results, non-outcropping ore bodies have been defined. These ore bodies mainly occur in weakly metamorphized carbonaceous terrigenous and terrigenous-carbonate rocks, and are flat-dipping zones sub-consistent with ore-bearing rocks of gold-quartz-sulfide mineralization. The study has revealed that the Ugakhan field has a cascade structure complicated with dislocation faulting systems. As a result, new ore sites and potential ore-bearing blocks have been discovered. All the above has given a significant increase of the field's mineral resource base (25% in terms of resources in gold equivalent). For the Golets Vysochaishy field, the ore zone has been expanded to east-south-east and north-west of the site. The study has confirmed the assumption of the presence of a gold ore site (more than 5 tons) within the Ugakhan formation carbonate rocks that the previous researchers considered unpromising in terms of precious metal mineralization.

Keywords: gold, Bodaibo region, black-shale strata, gold fields, Golets Vysochaishy, Ugakhan, Ykanskoeye, Ozhereliye, metamorphism, ore blocks, GV Gold

Acknowledgements: The study is part of the State assignment, Project IX.130.3.1. № 0350-2019-0010. The work has been carried out using the scientific equipment of the Central Scientific and Practical Center "Isotopic Geochemical Research", Institute of Geochemistry, SB RAS, Irkutsk.

Information about the article: Received November 4, 2019; accepted for publication December 2, 2019; available online December 30, 2019.

For citation: Babyak VN, Blinov AV, Tarasova JI, Budyak AE. New data on the geological and structural features of the Ozhereliye, Ykanskoeye, Ugahan and Golets Vysochaishy gold fields. *Earth sciences and subsoil use*. 2019;42(4):388–412. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2019-42-4-388-412>

Введение

Компания ПАО «Высочайший» входит в десятку (шестое место по результатам 2018 г.) крупнейших золотодобывающих компаний России. Ежегодно на производственных площадках добывается более 5 т золота (в 2018 г. добыто 9 т золота).

Все объекты ПАО «Высочайший» делятся на два подразделения: Якутская и Иркутская бизнес-единицы. На начало 2019 г. на территории Бодайбинского района (Иркутская бизнес-единица) компания владела лицензиями на восемнадцать объектов, пять из которых являются оцененными месторождениями, на трех из них ведется золотодобыча: месторождения Угахан, Голец Высочайший, Ыкан, Ожерелье (лицензия – ПАО «Высочайший»), а также месторождение Красное (лицензия – совместное предприятие ПАО «Высочайший» & Goldfields AG). Все перечисленные объекты расположены в Бодайбинском районе Иркутской области на расстоянии 140–180 км от г. Бодайбо (рис. 1).

Как известно, золоторудные объекты Бодайбинского района подразделяются на два типа:

– прожилково-вкрапленные и штокерковые тела (Сухой Лог, Голец Высочайший, Вернинское), приуроченные к дальнетайгинско-жуинскому горизонту;

– крупные золотокварцевые жилы (Ожерелье, Догалдынское, Копыловское), приуроченные к юдомскому горизонту [1].

На основе имеющихся структурных, геолого-минералогических и геохимических данных регионального и локального уровней, а также данных, полученных в ходе бурения скважин по программам доразведки месторождений (фланги, глубокие горизонты) в период 2018–2019 гг., авторам удалось произвести геологический анализ и выявить закономерности распределения благороднометалльного (золотого) оруденения. Данная работа направлена как на поиск новых перспективных участков, так и на выявление экономически значимых блоков с золоторудной минерализацией в пределах уже оцененных объектов.

Объекты исследования

Геология района. Традиционно территория Байкало-Патомской провинции рассматривается в качестве рифтогенного прогиба, возникшего в неопротерозое на

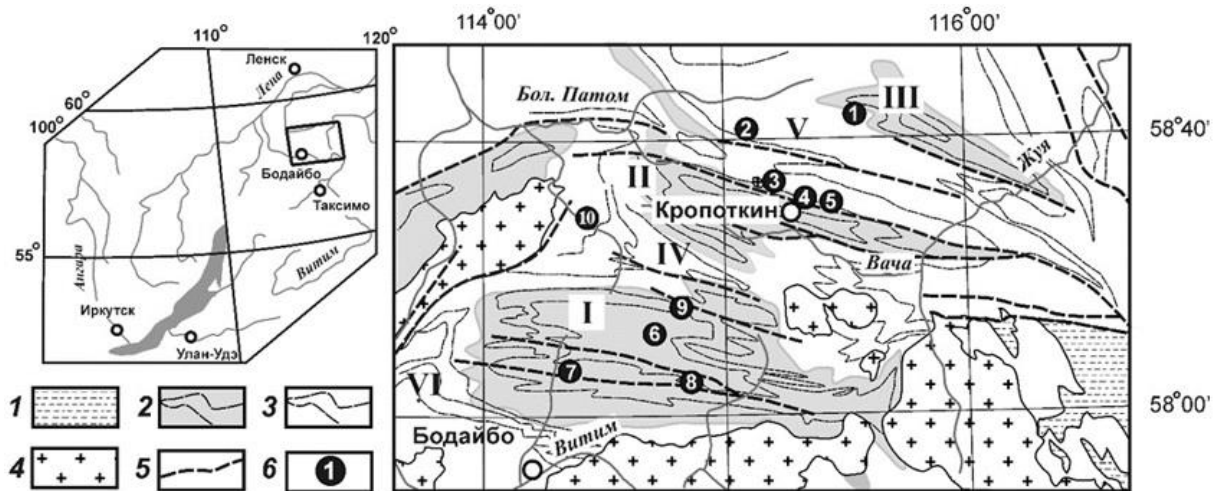


Рис. 1. Схема геологического строения Мамско-Бодайбинской зоны Байкало-Патомского пояса и размещения золоторудных месторождений¹:

- 1 – палеопротерозойские метасадочные породы нечерской и кевактинской серий (без расчленения);
2–3 – неопротерозойские терригеннокарбонатные породы Патомского комплекса и бодайбинской серии, образующие структуры второго порядка: 2 – синклинальные прогибы (I – Бодайбинский, II – Маракано-Тунгусский, III – Хомолхино-Илигирский), 3 – антиклинальные поднятия (IV – Кропоткинское, V – Кадаликанское, VI – Тамаракское); 4 – палеозойские гранитоидные интрузивы; 5 – региональные тектонические нарушения; 6 – золоторудные месторождения и рудопроявления: 1 – Голец Высочайший, 2 – Верхне-Угаханское, 3 – Сухой Лог, 4 – Вернинское, 5 – Невское, 6 – Догалдынская Жила, 7 – Кавказ, 8 – Копыловское, 9 – Красное, 10 – Ожерелье

Fig. 1. Scheme of the geological structure of the Mama-Bodaybo zone within the Baikalo-Patom belt, and the location of the gold fields¹:

- 1 – Nechera and Kevakta Paleoproterozoic metasedimentary rocks; 2–3 – Neoproterozoic terrigenous-carbonate sequences of the Patom complex and the Bodaybo series, forming the 2nd order structure: 2 – syncline (I – Bodaybo, II – Marakan-Tungusska, III – Khomolkho-Iligir), 3 – anticline (IV – Kropotkin, V – Kadali, VI – Tamarak); 4 – Paleozoic granite intrusions; 5 – regional tectonic dislocations; 6 – gold fields and ore occurrences: 1 – Golets Vysochaishy, 2 – Ugahan, 3 – Sukhoi Log, 4 – Verninskoye, 5 – Nevskoye, 6 – Dogaldyn vein, 7 – Kavkaz, 8 – Kopylovskoye, 9 – Krasniy, 10 – Ozhereliye

пассивной окраине Сибирского континента [1–4]. С запада, севера и востока рассматриваемую территорию ограничивает Ангаро-Витимский батолит.

В центральной части Байкало-Патомской провинции сформировалась Бодайбинская зона, которая с юга ограничивается выходами палеозойских гранитоидов Ангаро-Витимского батолита. Во внешней приплатформенной части, на западе, севере и востоке, Бодайбинская зона ограничена Прибайкальской и Приленской системами краевых прогибов, отделенных от центральной части Чуйским, Тонодским и Нечерским поднятиями.

В пределах Бодайбинской зоны выделяют складчатые структуры второго

порядка: Маракано-Тунгусскую и Бодайбинскую синклинали, которые разделены Кропоткинской антиклиналью (см. рис. 1). Характерной особенностью Бодайбинского синклинория является наличие метаморфической зональности, которая выражена в развитии кристаллических сланцев амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций по периферии синклинория и слабометаморфизованных пород зеленосланцевой фации в его центральной части.

Кристаллическое основание прогиба сложено породами нижнего протерозоя и архея, перекрытыми неопротерозойскими терригенными и терригеннокарбонатными осадочными комплексами,

¹ Золоторудное месторождение Чертово Корыто: отчет ЗАО «Тонода» о поисково-разведочных работах за 1996–2007 гг. с подсчетом запасов по состоянию на 01.09.2007 г. Бодайбо, 2007.



которые образуют три крупных стратиграфических горизонта: баллаганакский, дальнетайгинско-жуинский и юдомский (табл. 1). В пределах каждого отдельно взятого горизонта наблюдается схожая смена литологического состава отложений. Гравелиты и конгломераты, характерные для времени геодинамической активизации, сменяются песчаниками, заполняющими отрицательные формы рельефа морского дна, тем самым компенсируя прогибание первого этапа. Выше по стратиграфическому разрезу формируются глинистые отложения с повышенным содержанием углерода, которое в некоторых случаях превышает 5 %, что предполагает седиментацию в спокойных геодинамических условиях с застойным режимом. Завершают разрез крупной литолого-стратиграфической единицы песчаники со значительной долей карбонатного вещества [2, 4, 5].

С позиции рудоносности наиболее интересными в рамках дальнетайгинско-

жуинской серии являются хомолхинская (месторождения Сухой Лог, Голец Высочайший, Светловское) и аунакитская (месторождения Вернинское, Невское, Красное, Ыканское) свиты (см. табл. 1). Соответственно, в отечественной литературе данному горизонту уделяется повышенное внимание [1–4, 12–16].

Отложения дальнетайгинского горизонта представлены грубообломочными – до алевролитов – отложениями бужуихтинской свиты, мелкозернистыми известковистыми алевролитами, алевропелитами угаханской свиты, которые выше по разрезу сменяются углеродсодержащими алевропелитами хомолхинской свиты. Средняя мощность отложений серии – около 2500 м. Отложения дальнетайгинской согласно перекрываются отложениями жуинской серии, их мощность достигает 1500 м, а сами они характеризуются наибольшей фациальной изменчивостью в разрезе докембрийских осадков региона. К ним относят

Таблица 1

Стратиграфическая схема размещения месторождений Бодайбинского синклиория (по материалам источников [6–11])

Table 1

Stratigraphic scheme of the Bodaibo synclinorium location (compiled based on materials from [6–11])

Возраст, млн. лет	Горизонт	Свита	Месторождение	
			Бодайбинская синклиналь	Маракано-Тунгуская синклиналь
540	Юдомский	Илигирская		
		Догалдынская	Кавказ, Копыловское, Догалдынская Жила	Ожерелье
		Анангская		
580	Жуинский	Вачская		
		Аунакитская	Красное	Вернинское, Невское, Ыканское
		Имняхская		
610	Дальнетайгинский	Хомолхинская		Сухой Лог, Голец Высочайший
		Угаханская		
		Бужуихтинская		Угахан
635	Балаганский	Мариинская		
		Бугарихтинская		
		Хайвергинская		
		Хорлухтакская		
~770				



отложения трех свит: карбонатные отложения имняхской свиты согласно перекрываются углеродсодержащими алевролитами, алевропеллитами аунакитской и вачской свит. При общем преобладании алевролитов и алевропесчаников доля углеродсодержащих сланцев возрастает от 5–7 % в нижних пачках обеих серий до 35–40 % в черносланцевых пачках хомолхинской и аунакитской свит и превышает 60 % в отложениях вачской свиты. Содержание органического углерода ($C_{орг}$) колеблется от 0,5 до 4 % в хомолхинской и аунакитской свитах и достигает 10 % в черносланцевых отложениях вачской свиты. Характерной чертой отложений дальнотайгинско-жуинского горизонта является значительное обогащение алевролитов $C_{орг}$, в ряде проб достигающее 2,5 %.

Возраст отложений дальнотайгинской и жуинской серий, согласно значительному количеству работ, соответствует эдиакарскому периоду неопротерозойской эры (635–580 млн лет) [6, 8–11, 14, 17, 18].

Отложения юдомского горизонта повсеместно согласно залегают на образованиях дальнотайгинско-жуинского горизонта. Нижний горизонт представлен гравелитами, полимиктовыми песчаниками и серицит-хлоритовыми сланцами анангской свиты, мощность которой на южном фланге территории достигает 7000 м [2]. Флишоидные отложения анангской свиты постепенно сменяются образованиями песчаников и алевролитов с пачками углеродистых сланцев догалдынской свиты. К отложениям догалдынской свиты приурочены такие золоторудные месторождения и рудопроявления, как Догалдынская Жила, Копыловское, Ожерелье, Родниковое и др. Большинство геологов связывают россыпные месторождения Бодайбинского региона именно с кварцево-жильными месторождениями догалдынской свиты. В настоящее время научно обоснованы перспективы догалдынской свиты на обнаружение новых золоторудных месторождений

[1]. Заканчивается разрез юдомского горизонта кварцевыми песчаниками с илигирской свиты. В целом для отложений горизонта характерно грубое переслаивание гравелитов, песчаников, алевролитов, часто с косою слоистостью и присутствием вулканогенного материала [19].

Интрузивные образования региона. Магматизм в пределах рассматриваемой территории на уровне современного среза развит весьма ограниченно. Выделенные магматические комплексы палеозойского возраста представлены крупными массивами Мамского и Конкудеро-Мамаканского гранитных комплексов [18]. Они развиты в пределах Бодайбинского синклинория и прорывают породы неопротерозойского разреза вплоть до отложений юдомского горизонта. Возраст Мамского комплекса оценивается около 421 ± 15 млн лет [20], с его становлением связывается главная складчатость и метаморфизм терригенных толщ Бодайбинского синклинория. Конкудеро-Мамаканский комплекс в пределах Байкало-Патомской провинции характеризуется высоким эрозионным срезом, выходящим на поверхность в виде дайковых полей и некрупных штоков. Становление Конкудеро-Мамаканского комплекса проходило в две стадии. Возраст интрузий первой фазы оценивается в 340–320 млн лет [21], с ней связывают формирование гидротермальных кварцевых жил в Бодайбинском синклинории, в том числе золотоносных [22]. Вторая фаза Конкудеро-Мамаканского комплекса сформировалась около 310–270 млн лет [21, 23, 24]. Кроме того, в Бодайбинском синклинории широко развиты дайковые тела диорит-лампрофиров Кадали-Бутуинского комплекса возрастом ~320 млн лет, прорывающие интрузии Конкудеро-Мамаканского комплекса [25].

Разломная тектоника в пределах рассматриваемой площади представлена в основном поверхностными разломами, имеющими относительно небольшие размеры и незначительный ореол измененных пород. Возраст разломов в



основном среднепозднепалеозойский, а их происхождение связано с линейным складкообразованием, гранитогнейсовым куполообразованием и со становлением гранитоидов Мамского и Конкудеро-Мамаканского комплексов. Соскладчатые вязкие разломы характеризуются относительно небольшими амплитудами перемещений и иногда образуют широкие зоны как в замковых частях, так и в крыльях складок. Морфологически разломные зоны представляют собой взбросы или надвиги с северо-восточным падением под углом 35–45°.

Позднескладчатые взбросы, надвиги и сбросы отставания сформировались в заключительную стадию складкообразования. Разрывы ориентированы субпараллельно осевым поверхностям складок и кливажу, группируются в зону над продольными разломами фундамента либо осложняют наиболее деформированные участки чехла и зоны вязких соскладчатых разрывов. Помимо поверхностных разрывных нарушений выделены зоны глубинных разломов, которые являлись главными рудоконтролирующими структурами [1].

Гидротермально-метасоматические процессы. Гидротермально-метасоматические процессы региона наиболее полно изучены на месторождениях Сухой Лог, Голец Высочайший, Вернинское и Красный [6, 12, 16, 26–32]. Основными наложенными процессами являются буршпатизация (железо-магнезиальные карбонаты), сульфидизация, окварцевание, альбитизация. Степень развития каждого из них в значительной мере определяется литологическими факторами. Согласно работам А.И. Иванова [33], с этапом линейной складчатости связаны сульфидизация, а также образование железо-магнезиально-кальциевых карбонатов переменного состава (буршпатизация) и окварцевание. В регионально-метаморфический этап в активизировавшихся зонах рассланцевания происходило преобразование ранее сформированных минералов, а также

формирование жильно-прожилковых зон.

Кроме того, в пределах Мараканского рудного узла (месторождения Ыканское и Ожерелье) отмечаются диафторические изменения, которые проявились в границах зон рассланцевания и привели к мусковитизации порфиробластов граната, хлоритизации и мусковитизации порфиробластов биотита.

В результате комплексного геолого-геофизического изучения объектов Бодайбинского региона с применением наиболее современных геофизических (в том числе дистанционных) методов и геолого-геохимического (в том числе изотопной геохимии) метода [14, 34–37] предложена усовершенствованная модель формирования месторождений золота, локализованных в черносланцевых толщах, которая предполагает формирование месторождений в три основных этапа: диагенез, катагенез и метаморфизм [2]. Предложенная модель предполагает потенциальную перспективу обнаружения дополнительных рудных объемов за счет эшелонирования рудных тел в структуре антиклинальной складки на разных стратиграфических уровнях. Таким образом, встал вопрос о переоценке минерально-сырьевой базы предприятия.

Материалы и методы исследования

Переоценка и расширение минерально-сырьевой базы предприятия ПАО «Высочайший» в целом и отдельных рудных точек в частности – это неизбежная процедура. Такое расширение может происходить несколькими путями, которые сливаются в единую базу. Первый путь – это пересмотр параметров (геология, геохимия, геофизика, стратиграфия и т. п.) уже действующих рудников и доразведка флангов и глубоких горизонтов на основе переосмысленной информации. Второй путь, более простой и дешевый – приобретение новых лицензионных площадей с оцененными ресурсами. Соответственно, второй путь несет гораздо более высокие риски. Развитие компании ПАО «Высочайший» определяется совокупностью двух вышеописанных путей.



На основе исторических данных бурения и эксплуатационной разведки, а также по итогу переосмысления структурных позиций месторождений в результате проведенных работ сотрудниками ПАО «Высочайший» совместно с Институтом геохимии СО РАН в 2017 г. были разработаны и утверждены программы геологического доизучения месторождений Угахан, Голец Высочайший, Ожерелье на два года (2018–2019 гг.).

Основной целью программ являлась доразведка флангов и глубоких горизонтов, а также делался упор на особенности метода бурения RC (шламовое бурение методом обратной продувки), чтобы за счет большей массы пробы (представительности) увеличить средние содержания в выявленных рудных интервалах. Основные объемы программы представлены в табл. 2.

Результаты исследования и их обсуждение

В работе будут представлены материалы по четырем золоторудным месторождениям, принадлежащим компании ПАО «Высочайший», с учетом данных, полученных в период 2018–2019 гг. Объекты описываются в порядке стратиграфической расположенности снизу вверх.

Золоторудное месторождение Угахан (бужуихтинская свита). Месторождение расположено в северной части Бодайбинской структурно-формационной зоны (Бодайбинский синклинорий) в Хомолхинской подзоне и приурочено к ядерной части и крыльям Верхне-Угаханской антиклинали (структура третьего

порядка). На юге антиклиналь ограничена Гохтачинско-Угаханской, на севере – Хомолхинской синклиналями. Ось структуры меняет свою ориентировку с северо-западной (азимут простирания – 300°) до субширотной (азимут простирания – 90°), а шарнира – от субгоризонтальной до наклонной (угол – 8–10°). Антиклиналь, как и прочие рудовмещающие структуры региона, запрокинута на юго-запад, ее осевая поверхность погружается в северных румбах под углом около 30°.

Рудовмещающей является первая пачка верхней подсвиты бужуихтинской свиты, которая слагает ядерную часть Верхне-Угаханской антиклинали (рис. 2). В основании песчаных прослоев отмечаются более грубозернистые прослои с градационной слоистостью. По литологическим особенностям и породным соотношениям эта свита подразделена на две подсвиты.

Нижняя подсвита (bz₁) сложена переслаивающимися углеродистыми сланцами, алевролитами, кварцевыми и кварц-карбонатными песчаниками. Песчаники преобладают в средней части подсвиты, сланцы и алевролиты – в нижней и верхней. Мощность – 250–300 м.

Верхняя подсвита (bz₂) имеет существенно песчаный состав (60–70 %), углеродистые сланцы и алевролиты залегают в виде прослоев. Это взаимоотношение не всегда является верным из-за изменчивости литоконплексов по простиранию (фациальных переходов). Мощность – 400–450 м.

Таблица 2

Объемы буровой программы 2018–2019 гг.

Table 2

Production volumes of the drilling program, 2018–2019

Месторождение	Объем, м	
	2018 г.	2019 г.
Голец Высочайший	50000	12000
Угахан	12000	48000
Ожерелье	8000	–
Итого буровая программа	70000	60000
Всего бурения		130000

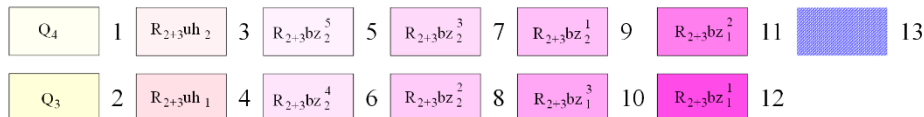
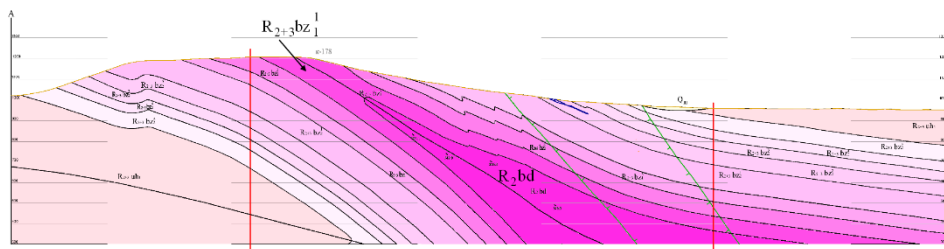
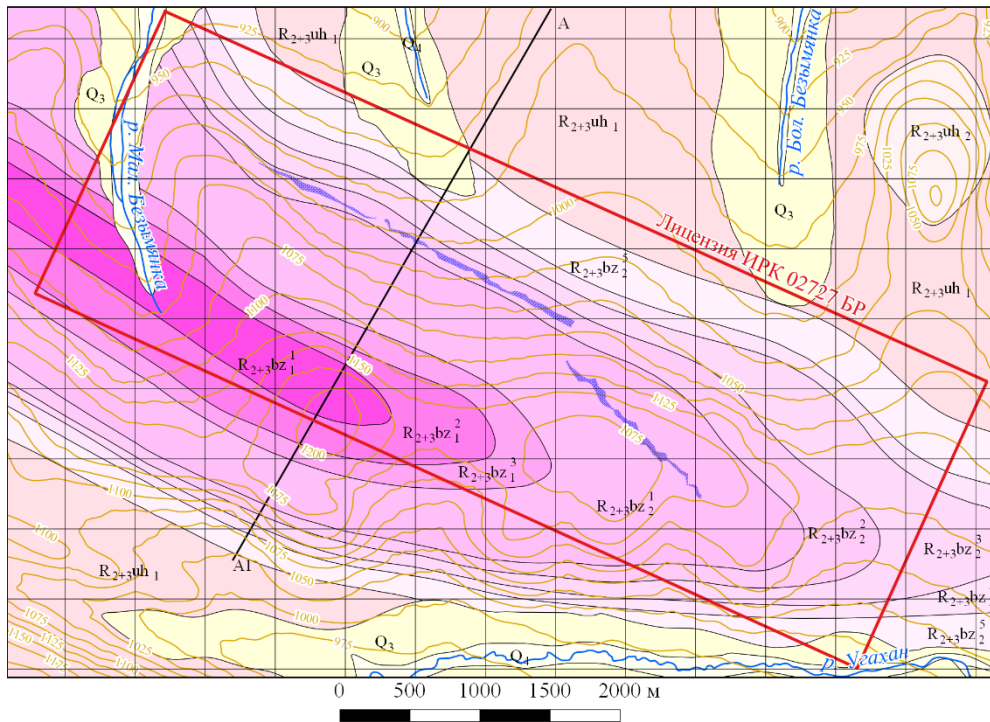


Рис. 2. Схематическая геологическая карта месторождения Угхан:

- 1 – современные отложения; аллювиальные пески, суглинки, галечники, супеси;
 2 – верхнечетвертичные отложения; ледниковые и водоледниковые пески, суглинки, глины, супеси, галечники, валунники; 3 – верхняя подсвита угаханской свиты; известняки серые и темно-серые углеродистые кристаллические; 4 – нижняя подсвита угаханской свиты; тонкое переслаивание от темно-серых до черных углеродистых слюдисто-кварцевых алевролитовых сланцев и известняков; 5 – пятая пачка верхней подсвиты бужуихтинской свиты; песчаники полевошпатово-кварцевые, кварцевые, известковистые с прослоями сланцев углеродистых; 6 – четвертая пачка верхней подсвиты бужуихтинской свиты; сланцы углеродистые слюдисто-кварцевые с редкими прослоями песчаников полевошпатово-кварцевых; 7 – третья пачка верхней подсвиты бужуихтинской свиты; песчаники полевошпатово-кварцевые в различной степени известковистые с прослоями слюдисто-кварцевых алевролитов и сланцев; 8 – вторая пачка верхней подсвиты бужуихтинской свиты; переслаивание песчаников полевошпатово-кварцевых, алевролитов и сланцев слюдисто-кварцевых углеродистых; 9 – первая пачка верхней подсвиты бужуихтинской свиты; переслаивание песчаников полевошпатово-кварцевых, сланцев и алевролитов углеродистых; 10 – третья пачка нижней подсвиты бужуихтинской свиты; ритмичное переслаивание алевролитов и сланцев слюдисто-кварцевых и песчаников полевошпатово-кварцевых; 11 – вторая пачка нижней подсвиты бужуихтинской свиты; песчаники кварцевые, полевошпатово-кварцевые с прослоями сланцев углеродистых слюдисто-кварцевых и алевролитов; 12 – первая пачка нижней подсвиты бужуихтинской свиты; сланцы углеродистые слюдисто-кварцевые, прослои алевролитов и песчаников кварцевых; 13 – выход рудных залежей на поверхность



Fig. 2. Schematic geological map of the Ugahan field:

1 – recent beds; alluvial sands, loams, gravels, sandy loams; 2 – Upper Quaternary deposits; glacial sands, loams, clays, loamy sand, gravels, shingle; 3 – Upper sub-formation of the Ugahan series; gray and dark-gray carbon crystalline limestone; 4 – lower sub-formation of the Ugahan series; dark gray to black carbonaceous micaceous quartz siltstone shales and limestone; 5 – the fifth assise of the upper sub-formation of the Buzhuikhtinsky series; sandstones: feldspar-quartz, quartz, calcareous with intercalations of carbonaceous schists; 6 – the fourth assise of the upper sub-formation of the Buzhuikhtinsky series; carbon micaceous-quartz schists with rare intercalations of feldspar-quartz sandstones; 7 – the third assise of the upper sub-formation of the Buzhuikhtinsky series; sandstones: feldspar-quartz, to a varying degree calcareous, with quartz siltstone and shale interbeds; 8 – the second assise of the upper sub-formation of the Buzhuikhtinsky series; intercalation of feldspar-quartz sandstones, siltstones, and mica-quartz carbonaceous shales; 9 – the first assise of the upper sub-formation of the Buzhuikhtinsky series; intercalation of feldspar-quartz sandstones, shales and carbonaceous siltstones; 10 – the third assise of the lower sub-formation of the Buzhuikhtinsky series; rhythmic intercalation of siltstones and schists of mica-quartz and feldspar-quartz sandstones; 11 – the second assise of the lower sub-formation of the Buzhuikhtinsky series; quartz sandstones, feldspar-quartz with intercalations of shales of carbonaceous micaceous-quartz and siltstones; 12 – the first assise of the lower sub-formation of the Buzhuikhtinsky series; carbon micaceous-quartz schists, intercalations of siltstones and quartz sandstones; 13 – ore deposit outcrops

Рудная минерализация локализована в верхней подсвите бужуихтинской свиты, которая представляет собой согласное напластование толщ полевошпатово-кварцевых песчаников с серицит-кальцитовым, кальцит-серицитовым цементом, чередующихся с алевролитами и углеродистыми филлитовыми сланцами.

Выше по разрезу, на отложениях бужуихтинской свиты, согласно залегает корбанатизированные песчаники угаханской свиты, которые слагают крылья одноименной антиклинали. Строение разреза угаханской свиты определяют темно-серые и черные известняки, сланцы и песчаники. По литологическим особенностям она подразделяется на две подсвиты.

Нижняя подсвита (uh_1) сложена тонкопереслаивающимися от темно-серого до черного цвета слюдисто-кварцевыми алевритовыми сланцами и известняками при преобладании первых (70 %). Мощность – 400–450 м.

Верхняя подсвита (uh_2) представлена серыми и темно-серыми в различной степени углеродистыми кристаллическими известняками, иногда брекчиевидными и оолитовыми с подчиненными прослоями углеродистых слюдисто-кварцевых, слюдисто-карбонатно-кварцевых сланцев. Мощность – 350–400 м.

Рудные тела не имеют визуальных отличительных признаков и выделяются

исключительно по результатам опробования. Залежи оконтурены по естественному борту 0,2 г/т. Золоторудная минерализация распределена неравномерно, размах содержаний – от десятых долей до 13,74 г/т. По доминирующему расположению рудных залежей и геологической позиции месторождение условно разбито на два участка: Юго-Восточный и Северо-Западный.

Рудные залежи имеют пластообразную форму, субсогласное залегание с вмещающими породами, полого падают на север-северо-восток под углами 15–29° и располагаются ярусно. Длина рудных тел по простиранию доходит до 4 км, а по падению – до 600 м.

В ходе разведки месторождения были оконтурены пять рудных тел.

Минерализация представлена пирротинном вкрапленно-прожилково-линзовидного типа, содержание – от первых долей процента до 10 %. Пирит имеет резко подчиненное значение, развит, как правило, в виде монокристаллов (вторичный) или катаклазированных, брекчированных обломков в пирротиновой массе. Встречены единичные зерна халькопирита и золота. Золотинки имеют пластинчатое строение, расположены по удлинению вдоль слоистости песчаника, в цементе. Форма выделений неправильная ксеноморфная, подчиняющаяся очертаниям выполняющих цемент минералов.



В связи с выявленной структурной особенностью месторождения, а именно каскадным строением его рудных тел, предполагалась вероятность обнаружения потенциально возможных рудных тел, не выявленных горными выработками предыдущих работ (стадия разведки). На такую возможность указывали также скважины опережающей разведки (шламовое опробование), определившие наличие золота в концентрациях, имеющих экономическую значимость.

Для проверки этой гипотезы в 2018 г. геологической службой компании была проведена программа доразведки месторождения (бурение скважин RC в объеме 12800 м).

Результаты программы:

– мощность известных рудных тел увеличилась на 20–25 %, при этом наблюдалось снижение средних содержаний металла на 5–10 % от заявленного в Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых;

– на фоне незначительного снижения средних содержаний золота в рудных телах объем их увеличен как за счет увеличения мощности, так и за счет увеличения площади рудной минерализации;

– выявлены новые рудные участки, не выходящие на дневную поверхность (слепые залежи);

– эксплуатационный потенциал месторождения увеличен на 15–20 %, ввиду чего минерально-сырьевая база компании ПАО «Высочайший» также получила ощутимый прирост (табл. 3).

Исходя из полученных результатов и анализа геологической позиции месторождения с точки зрения орогенной концепции [38–40] и ее более локального метаморфогенно-метасоматического типа [2] принято решение о проведении в 2020 г. крупномасштабной программы разведки флангов и глубоких горизонтов на предмет выявления новых потенциально рудных зон. Объем программы составил 38000 м шламowego бурения RC и более 10000 м колонкового бурения. Ожидаемый прирост ресурсной базы месторождения – 10–15 т золота.

Золоторудное месторождение Голец Высочайший (хомолхинская свита). Месторождение Голец Высочайший входит в Хомолхинское рудное поле, которое является составной частью Бодайбинского рудного района, пространственно совпадающего со сложно построенным Бодайбинским синклиналием.

Таблица 3

Данные о запасах месторождения Угахан

Table 3

Data on the reserves of the Ugakhan field

Показатель	Руда, тыс. т	Среднее содержание, г/т	Металл, кг
Поставлено на баланс 24.10.2014 г.	23539,6	1,54	36313
Добыто на 01.01.2019 г.	4542	0,99	4476
Осталось на 01.01.2019 г.*	20926,1	1,54	32124,1
Прирост по программам геологоразведочных работ 2018 г. (12000 м)	7500	1,05	7933
Остаток с приростом**	28426,1	1,41	40057,1
Общие запасы месторождения***	32968,1	1,35	44533,1

Примечание: * – балансовые запасы на 01.01.2019 г. с учетом переоценки запасов геологической службой ПАО «Высочайший» без учета геологоразведочных работ 2018 г.; ** – балансовые запасы месторождения с учетом геологоразведочных работ 2018 г.; *** – балансовые запасы месторождения с учетом остатка с приростом и добытого на 01.01.2019 г.

Note: * – reserves for 01.01.2019 with the account of the reevaluation by the Geological Service of PJSC 'Vysochaishy' excluding the geological exploration work of 2018; ** – reserves with the account of the geological exploration work of 2018; *** – reserves with the account of the residuum with a gain and that mined for 01.01.2019.



Структурное положение месторождения определяется его приуроченностью к пологому северному крылу Каменской антиклинали. В целом это резко асимметричная наклонная складка: северное пологое крыло падает на север-северо-восток под углом 10–30°, крутое крыло – на юг-юго-запад под углом 80–90° до изоклинали в замке складки. Простираание осевой линии складки изменяется с запада на восток с субширотного на юго-восточное. Шарнир при субширотном простираании горизонтален, а на участке перегиба сначала слегка воздымается, а затем погружается под углом 7–10° на юго-восток. Структурный рисунок антиклинали существенно осложняет дополнительная складчатость более высоких порядков различной морфологии с размахом крыльев от первых десятков метров до десятков сантиметров.

В геологическом строении месторождения участвуют отложения дальнетайгинской серии неопротерозойского возраста, представленные карбонатными отложениями угаханской, терригенно-углеродистой хомолхинской и терригенно-известковистой имняхской свит (рис. 3).

Угаханская свита слагает ядерную часть антиклинали и до недавнего времени считалась бесперспективной на присутствие золотого оруденения. Промышленное золотосульфидное оруденение и основное количество золотоносных кварцевых жил избирательно локализируются в отложениях хомолхинской свиты. Золотоносные кварцевые жилы частично выходят в вышележащие известковистые сланцы имняхской свиты.

Хомолхинская свита имеет существенно сланцевый состав, вмещает зоны продуктивной минерализации, расчленена на три подсвиты и ряд горизонтов.

Нижняя подсвита (hm_1) слагает крылья антиклинали, несет золотое оруденение, подразделена на две пачки, общая мощность – 170–300 м.

Средняя подсвита (hm_2) закартирована в северном крыле антиклинали. По составу отличается резким преоблада-

нием кварцевых песчаников над углеродсодержащими филлитами. В подошве залегает довольно мощный горизонт (10–30 м) кварцевых песчаников, сменяющийся пачкой грубого переслаивания кварцевых и полевошпат-кварцевых песчаников с филлитами. Мощность подсвиты – 80–90 м.

Верхняя подсвита (hm_3) слагает северное крыло структуры, по литологии и характеру переслаивания выделяются два горизонта. Проявлений золоторудной минерализации с промышленными параметрами не установлено.

Перекрывающими являются породы имняхской свиты, встреченные на крыльях антиклинали.

Рудная залежь представляет собой пластообразное тело, прослеженное по простираанию на 1500–1800 м и по падению на 400–600 м при мощности 60–90 м. Минерализованная зона не имеет четких физических границ и оконтурена по результатам опробования. В количественном отношении минеральный состав описываемой зоны выражается следующими цифрами:

- жильно-прожилковый кварц – 2–3 %;
- сульфидная минерализация – 3–4,5 %, в том числе пирит – 1–1,5 % и пирротин – 2–3,5 %.

Максимальная концентрация сульфидов приурочена к средней части зоны и достигает 5,5 %. Сульфидная минерализация проявлена изолированными вкрапленниками, гнездами и прожилками пирит-пирротинового состава в парагенезисе с кварцем. Кроме пирита и пирротина встречаются марказит, халькопирит, галенит, рутил. Самородное золото преимущественно мелкое (50 % – менее 0,5 мм, 10 % – более 1 мм), форма золотинок пластинчатая, чешуйчатая, комковидная. В большинстве случаев золотинок наблюдаются по окварцованным трещинам в породе вблизи выделений сульфидов, в сростании с пирротинном и рутилом, в кварцевых прожилках и зернах пирита.

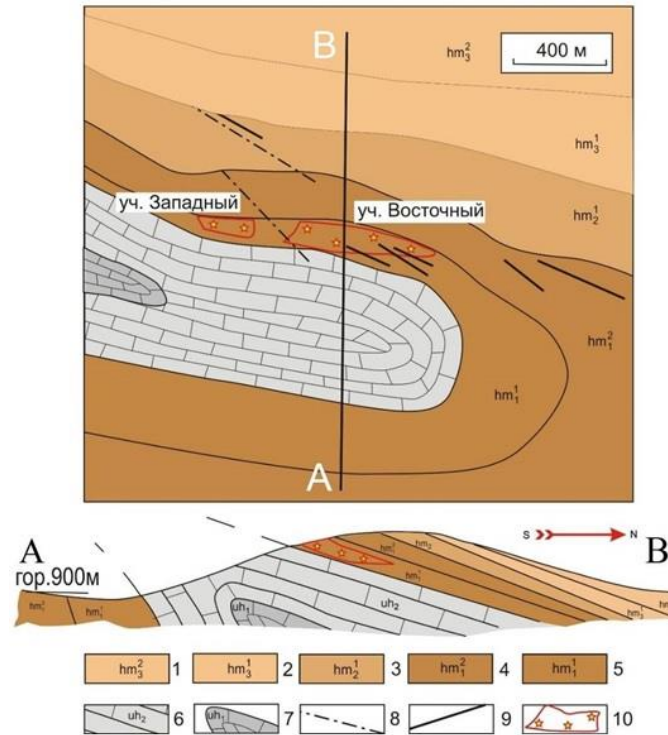


Рис. 3. Схематическая геологическая карта и разрез месторождения Голец Высочайший (по материалам ЗАО «Высочайший», 1999 г.):

1–5 – хомолхинская свита: 1 – верхняя подсвита, вторая пачка (сланцы темно-серые кварц-серицитовые), 2 – верхняя подсвита, первая пачка (сланцы кварц-серицитовые с частыми прослоями кварц-полевошпатовых песчаников), 3 – средняя подсвита (песчаники серые, зеленовато-серые кварцевые, кварц-полевошпатовые с прослоями кварц-серицитовых сланцев), 4 – нижняя подсвита, вторая пачка (сланцы темно-серые, зеленовато-серые с частыми прослоями песчаников), 5 – нижняя подсвита, первая пачка (сланцы кварц-серицитовые, метапелитовые углеродистые с редкими маломощными прослоями известняков, известковистых сланцев, песчаников); 6, 7 – угаханская свита: 6 – верхняя подсвита (серые известняки с прослоями известковистых сланцев), 7 – нижняя подсвита (сланцы известково-слюдистые темно-серые с прослоями известняков); 8 – разрывные нарушения; 9 – кварцевые жилы; 10 – контуры пологопадающих рудных залежей в проекции на горизонтальную плоскость и в разрезе

Fig. 3. Schematic geological map and section of the Golets Vysochaisky field (based on materials from GV Gold, 1999):

1–5 – Khomolkha series: 1 – upper sub-formation, second assise (dark gray quartz-sericite schists), 2 – upper sub-formation, first assise (quartz-sericite schists with frequent interlayers of quartz-feldspar sandstones), 3 – middle sub-formation (gray sandstones, greenish-gray quartz, quartz-feldspar with intercalations of quartz-sericite schists), 4 – lower sub-formation, second assise (dark gray and greenish-gray schists with frequent interlayers of sandstones), 5 – lower sub-formation, first assise (shales: quartz-sericite, metapelite carbon with rare low-thickness interlayers of limestone, calcareous schists, sandstones); 6, 7 – Ugakhan series: 6 – upper sub-formation (gray limestones with intercalations of calcareous shales), 7 – lower sub-formation (dark gray calcareous-micaceous shales with intercalations of limestone); 8 – discontinuous violations; 9 – quartz veins; 10 – contours of dipping ore deposits: projection on a horizontal plane, and in section

В 2018 г. на месторождении была проведена буровая программа, целью которой являлась переоценка минерально-сырьевой базы, а также доизучение флангов и глубоких горизонтов. Программой предусматривалось бурение скважин шламowego бурения (RC) – 40000 м и скважин колонкового бурения (DD) – 12000 м.

В результате программы бурения определено, что рудное тело прослеживается как на северо-запад, так и на юго-восток участка. На юго-восточном фланге рудная зона сохраняет свои параметры (мощность и средние содержания металла), а на северо-западном фланге имеется тенденция к уменьшению этих показателей.



Важным результатом проведенной работы является то, что на участке Восточный на глубине порядка 180–200 м в карбонатных породах угаханской свиты был подсечен нижний эшелон оруденения. Мощностью рудной толщи – до 10 м (среднее содержание золота ~1,5 г/т), расположена она стратиграфически согласно с вещающими породами угаханской свиты. По результатам бурения были подсчитаны объемы рудного тела на «нижнем геологическом этаже», которые составили более 5 т золота (табл. 4). Согласно модели формирования золоторудных месторождений Бодайбинского региона, предложенной В.К. Немеровым [2], источником золота в отложениях угаханской свиты могли являться черносланцевые толщи бужуихтинской свиты, подстилающие угаханскую толщу.

Выдвинуто предположение, что золотое оруденение угаханского стратопорядка имеет тенденцию к распространению на фланги месторождения, а значит, и увеличению общего полезного объема рудной составляющей.

Золоторудное месторождение Ыкан (аунакитская свита). Месторождение приурочено к северо-восточному крылу Вачской антиклинали третьего

порядка, осложняющей юго-западное крыло Маракано-Тунгусской синклинали. Вмещающими породами являются черносланцевые образования аунакитской свиты (аи) (рис. 4), которая в пределах региона делится на три подсвиты.

В нижней подсвите аунакитской свиты (аи₁) выделено две пачки: (аи₁¹) и (аи₁²). (Аи₁¹) представлена чередованием кварцитов известковистых и известковистых, сланцев биотитовых, двуслюдяных, иногда с гранатом. Мощность пачки – 80–100 м. (Аи₁²) сложена углеродистыми слюдисто-кварцевыми сланцами (55–75 %) и кварцевыми метапесчаниками (25–45 %). Переслаивание ритмичное. Ритмы двухкомпонентные: метапесчаник – сланец. Мощность ритмов – от первых сантиметров до 0,5 м. Мощность пачки – 70–80 м.

Средняя подсвита аунакитской свиты (аи₂) представлена двумя пачками. Нижняя пачка средней подсвиты аунакитской свиты (аи₂¹) – углеродистыми и неуглеродистыми кварцевыми метапесчаниками (50–70 %) и углеродистыми слюдисто-кварцевыми и кварцево-слюдистыми сланцами (30–50 %). Мощность слоев метапесчаников – 0,2–10 м, сланцев – 0,1–5 м с общей мощностью пачки до 80 м.

Таблица 4

Данные о запасах месторождения Голец Высочайший

Table 4

Data on the reserves of the Golets Vysochaishy field

Показатель	Руда, тыс. т	Среднее содержание, г/т	Металл, кг
Поставлено на баланс 01.01.2010 г.	16772,5	2,58	43345,9
Добыто на 01.01.2019 г.	34420	1,89	65036
Осталось на 01.01.2019 г.*	8624,6	1,36	11697,7
Прирост по программам геологоразведочных работ 2018 г. (38000 м)	10396,4	0,85	8845,3
Остаток с приростом**	19021	1,08	20543
Общие запасы месторождения***	53441	1,6	85579

Примечание: * – балансовые запасы на 01.01.2019 г. с учетом переоценки запасов геологической службой ПАО «Высочайший» без учета геологоразведочных работ 2018 г.; ** – балансовые запасы месторождения с учетом геологоразведочных работ 2018 г.; *** – балансовые запасы месторождения с учетом остатка с приростом и добытого на 01.01.2019 г.

Note: * – reserves for 01.01.2019 with the account of the reevaluation by the Geological Service of PJSC 'Vysochaishy' excluding the geological exploration work of 2018; ** – reserves with the account of the geological exploration work of 2018; *** – reserves with the account of the residuum with a gain and that mined for 01.01.2019.

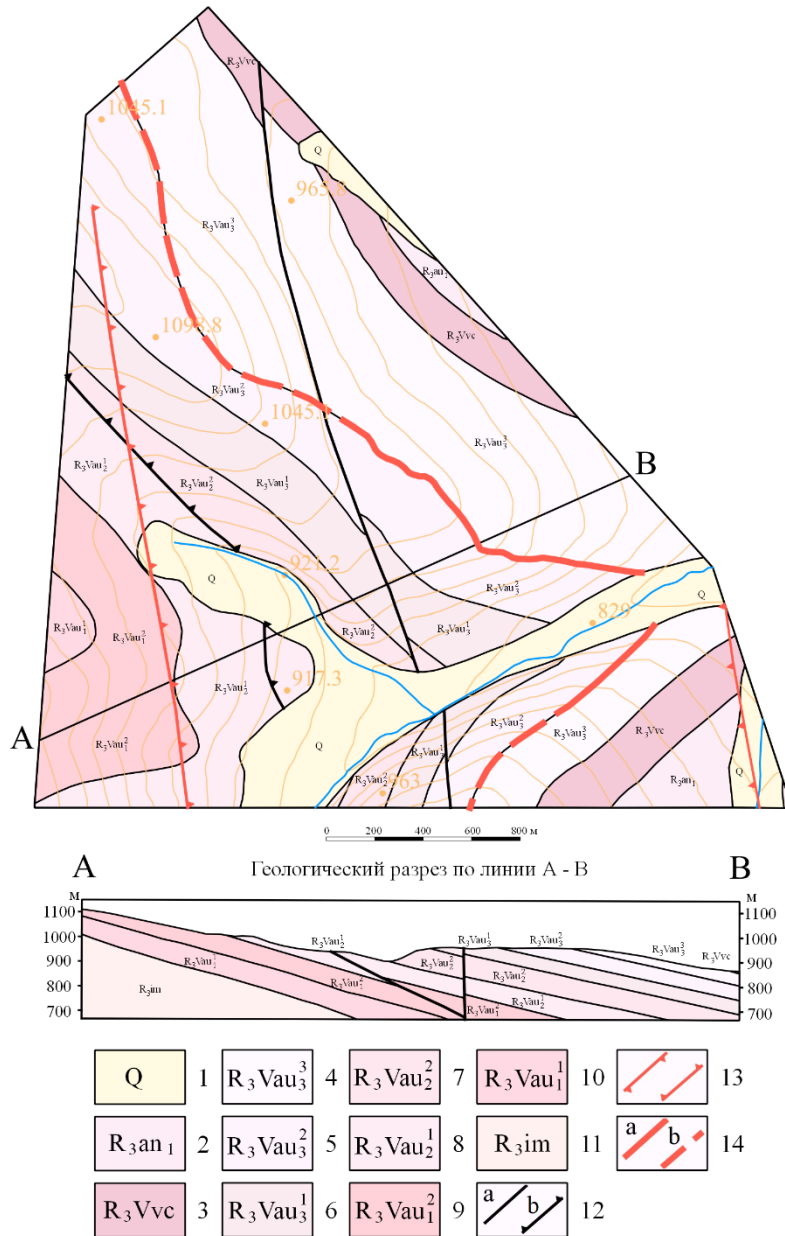


Рис. 4. Схематическая геологическая карта месторождения Ыканское:

1 – четвертичные отложения; 2 – анагрская свита; нижнеанагрская подсвита; метапесчаники кварц-полевошпатовые, прослои и пласты слабоуглеродистых; 3 – вачская свита; метапесчаники кварцевые, сланцы слюдисто-кварцевые высокоуглеродистые; 4 – верхнеаунакитская подсвита, третья пачка; сланцы слабоуглеродистые гранат-слюдистые часто диафорированные, прослои метаалевролитов и метапесчаников кварцевых безуглеродистых; 5 – верхнеаунакитская подсвита, вторая пачка; сланцы высокоуглеродистые, слюдисто-кварцевые, прослои метапесчаников кварцевых углеродистых; 6 – верхнеаунакитская подсвита, первая пачка; сланцы углеродистые слюдисто-кварцевые, метапесчаники кварцевые углеродистые и безуглеродистые; 7 – средне-аунакитская подсвита, вторая пачка; сланцы углеродистые слюдисто-кварцевые, прослои метапесчаников кварцевых углеродистых; 8 – средне-аунакитская подсвита, первая пачка; сланцы углеродистые слюдисто-кварцевые, метапесчаники кварцевые углеродистые и безуглеродистые; 9 – ниже-аунакитская подсвита, вторая пачка; сланцы углеродистые слюдисто-кварцевые, прослои метапесчаников кварцевых углеродистых; 10 – ниже-аунакитская подсвита, первая пачка; переслаивание кварцитов известковистых и неизвестковистых и сланцев слюдистых; 11 – имняхская свита; 12 – разрывные нарушения: а – картируемые, b – надвиги; 13 – секущая рудоконтролирующая зона сдвиговых дислокаций с крутопадающими плитообразными жилами (Bi, Sn, W, Pb, Zn, Au минерализация); 14 – рудная зона, прослеженная канавами (а), прослеженная линиями шурфов с шлиховым опробованием и геологическими маршрутами (b)



Fig. 4. Schematic geological map of the Ykanskoye field:

1 – Quaternary deposits; 2 – Anagra series; Lower Anagra sub-formation; Quartz-feldspar meta-sandstones, intercalations and low-carbon strata; 3 – Vacha series; Quartz meta sandstones, micaceous quartz schists, high carbon; 4 – Upper Aunakit sub-formation, the third assise; shales: mild carbon-bearing, garnet-micaceous, often diafluorinated, interlayers of meta-aleurolites and meta-sandstones of quartz carbon-free; 5 – Upper Aunakit sub-formation, the second assise; high-carbon shales, micaceous quartz, interbeds of carbon quartz meta-sandstones; 6 – Upper Aunakit sub-formation, the first assise; slates; carbonaceous, micaceous-quartz; meta-sandstones: carbonaceous and carbon-free; 7 – Middle Aunakit sub-formation, the second assise; carbonaceous shists, micaceous-quartz, interbeds of carbon quartz meta sandstones; 8 – Middle Aunakit sub-formation, the first assise; slates: carbonaceous, micaceous-quartz; meta-sandstones: carbonaceous and carbon-free; 9 – Lower Aunakit sub-formation, the second assise; slates: carbonaceous, micaceous-quartz; interbeds of carbon quartz meta sandstones; 10 – Lower Aunakit sub-formation, the first assise; intercalation of calcareous and non-calcareous quartzites and mica schists; 11 – Imnyakh series; 12 – dislocation faults: a – mapped, b – overthrust; 13 – secant ore-controlling zone of dislocations with steeply falling plate-like veins (Bi, Sn, W, Pb, Zn, Au mineralization); 14 – ore zone: traced by ditches (a), traced by pit lines with surface mining and geological routes (b)

Верхняя пачка средней подсвиты аунакитской свиты (au₂²) сложена переслаивающимися метапесчаниками черными углеродистыми мелкозернистыми и тонкозернистыми (15–20 %) и сланцами черными углеродистыми слюдисто-кварцевыми (80–85 %). По внешнему облику сланцы аналогичны таковым вачской свиты. Мощность пачки – 80–90 м.

Верхняя подсвита аунакитской свиты (au₃) в районе Ыканского месторождения сложена слабоуглеродистыми и безуглеродистыми сероцветными породами, залегает между черносланцевой пачкой (au₂²) и вачской свитой, в связи с чем при картировании выделяется как «серая пачка».

Основными системами разрывов, развитых в пределах месторождения, являются надвиги, субмеридианальные зоны трещиноватости и северо-восточные зоны хрупко-пластических деформаций.

Породы в зоне интенсивно рассланцованы, мусковитизированы, хлоритизированы, окварцованы. Окварцевание носит как жильно-прожилковый характер, так и метасоматический вплоть до образования пород типа кварцитов. Общая мощность зоны рассланцевания превышает 150 м, и практически вся она характеризуется отсутствием содержаний золота. Промышленные содержания устанавливаются в основном в нижней части сланцево-песчано-алевролитовой пачки.

Рудная зона прослежена канавами и скважинами на расстояние порядка

4 км по простиранию и до 800 м по падению. Наиболее детально зона изучена в центральной части на протяжении 1,4 км, где установлено промышленное оруденение. Простирание зоны северо-западное, угол падения – около 16° на северо-восток.

Минерализованная зона месторождения достаточно однородна и представляет собой кварц-мусковитовые-(серицитовые) сланцы с вкрапленной пирит-пирротиновой минерализацией и тончайшими просечками кварц-пирит-пирротинового состава. Широкое распространение имеют гидроокислы железа (ильменит, магнетит, титаномагнетит). В виде редких и единичных зерен отмечаются арсенопирит, халькопирит, сфалерит, галенит.

Золото находится в совместных выделениях с пирротинном. Цвет свободного золота в основном золотисто-желтый. Блеск сильный металлический, до зеркального. Формы золотинок – комковатая, пластинчатая, дендритовидная, ветвистая. Около 60–70 % золота представлено крупными частицами (класс крупности +0,07 мм). Доля мелкого и тонкого золота (класс крупности -0,07 мм) составляет треть.

По месторождению Ыканское на текущий момент (2019 г.) идет пересчет запасов с применением понижения бортового содержания, что позволит увеличить ресурсную базу на 15–20 % (табл. 5). На 2020–2021 гг. запланирована буровая программа на прослеживание тела на



северо-запад участка с целью выявления экономически выгодных участков под разработку и наращивание производственных мощностей существующего горно-обогатительного комбината. Также рассматривается вариант площадного опорно-профильного бурения на перспективу обнаружения рудных тел на более глубоких горизонтах. Предполагаемый объем бурения программы составит около 10000 м.

Золоторудное месторождение Ожерелье. Месторождение рудного золота Ожерелье стоит особняком не только в линейке месторождений компании ПАО «Высочайший», но и в рамках Мараканского рудного узла в целом, отличаясь по структурным особенностям (оруденение приурочено к надвиговой структуре) и по вещественным характеристикам (ему присуща убогая сульфидная минерализация и крупные частицы золота).

Рудное поле месторождения Ожерелье расположено в пределах Догалдынской антиклинали, осложняющей северо-западное замыкание Маракано-Тунгусской синклинали в пределах Мамско-Бодайбинского синклинория. Вмещающими породами являются метаморфизованные терригенные отложения анангрской и догалдынской свит (рис. 5).

Рудная зона локализована в междвиговом пространстве, мощностью от 20 до 120 м между двумя надвиговыми плоскостями (азимут падения – 110°, угол – 40°), в лежачей антиклинальной складке, сложенной черносланцевыми литокомплексами верхов анангрской и низов догалдынской свит.

Верхние горизонты анангрской свиты представлены зеленовато-серыми сланцами гранат-биотит-хлоритовыми с крупными порфиробластами граната, реже слюдисто-хлоритовыми и биотитовыми сланцами. Нижние горизонты догалдынской свиты сложены биотитовыми и хлорит-биотитовыми сланцами, в пределах которых отмечаются мусковит, кварц, кальцит, анкерит. Содержание карбонатов достигает 10–30 % с преобладанием анкерита. Породы анангрской и догалдынской свит содержат в переменном количестве углеродистое вещество, достигающее 1,5 % в черосланцевой пачке догалдынской свиты (dg2).

Минерализованная зона представляет собой зону интенсивной гидротермально-метасоматической переработки, проявленной в виде бурошпатизации и мусковитизации, на которую наложена золотоносная жильно-прожилковая минерализация, что заметно отличает этот объект на фоне других месторождений

Таблица 5

Данные о запасах месторождения Ыканское

Table 5

Data on the reserves of the Ykanskoeye field

Показатель	Руда, тыс. т	Среднее содержание, г/т	Металл, кг
Поставлено на баланс 12.08.2011 г.	1157,1	2,99	3460,4
Добыто на 01.01.2019 г.	649,4	2,63	1709,3
Осталось на 01.01.2019 г.*	2133,45	2,5	5338,9
Прирост по программам геологоразведочных работ 2018 г.	–	–	–
Остаток с приростом**	2133,5	2,5	5338,9
Общие запасы месторождения***	2782,9	2,53	7048,2

Примечание: * – балансовые запасы на 01.01.2019 г. с учетом переоценки запасов геологической службой ПАО «Высочайший» без учета геологоразведочных работ 2018 г.; ** – балансовые запасы месторождения с учетом геологоразведочных работ 2018 г.; *** – балансовые запасы месторождения с учетом остатка с приростом и добытого на 01.01.2019 г.

Note: * – reserves for 01.01.2019 with the account of the reevaluation by the Geological Service of PJSC 'Vysochaishy' excluding the geological exploration work of 2018; ** – reserves with the account of the geological exploration work of 2018; *** – reserves with the account of the residuum with a gain and that mined for 01.01.2019.

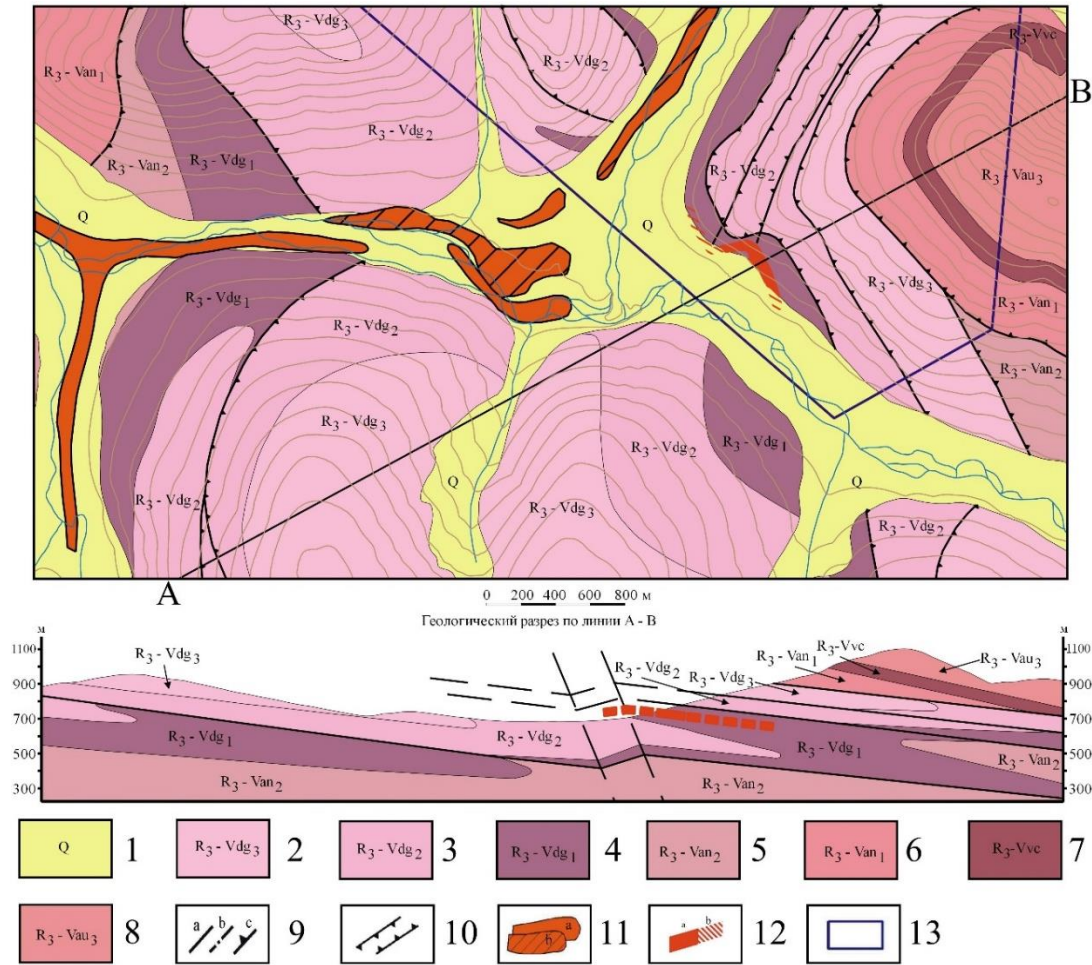


Рис. 5. Схематическая геологическая карта месторождения Ожерелье:

1 – четвертичные отложения; 2 – верхнедогалдынская подсвита; метапесчаники светлые полевошпат-кварцевые, маломощные прослои сланцев углеродистых; 3 – среднедогалдынская подсвита; ритмичное переслаивание метапесчаников известковистых и сланцев слюдястых слабоуглеродистых; 4 – нижнедогалдынская подсвита; метапесчаники углеродистые кварц-полевошпатовые в ритмичном переслаивании с метаалевролитами и сланцами углеродистыми, часто проявлена градационная слоистость метапесчаник – сланец; 5 – верхнеанангрская подсвита; метапесчаники кварц-полевошпатовые в грубом переслаивании со сланцами углеродистыми; 6 – нижнеанангрская подсвита; метапесчаники кварц-полевошпатовые, прослои и пласты сланцев слабоуглеродистых; 7 – вачская свита; метапесчаники кварцевые, сланцы слюдясто-кварцевые высокоуглеродистые; 8 – аунакитская свита, верхнеаунакитская подсвита; сланцы слюдясто-кварцевые углеродистые, метапесчаники и метаалевролиты кварцевые углеродистые; 9 – разрывные нарушения: а – картируемые, б – скрытые под четвертичными отложениями, с – надвиги; 10 – зона взброса с пластичной (флексурной) деформацией; 11 – аллювиальные россыпи золота: а – разведанные, б – отработанные; 12 – рудная зона № 1, вскрытая горными выработками (а), по делювиальным обломкам и шиховым ореолам золота (б); 13 – контур месторождения

Fig. 5. Schematic geological map of the Ozhereliye field:

1 – Quaternary deposits; 2 – Upper Dogaldyn sub-formation; light feldspar-quartz meta-sandstones, thin beds of carbonaceous schists; 3 – Middle Dogaldyn sub-formation; rhythmic intercalation of calcareous meta-sandstones and mica slightly carbonaceous schists; 4 – Lower Dogaldyn sub-formation; quartz-feldspar carbon meta-sandstones in rhythmic intercalation with meta-aleurolites and carbon schists; gradation stratification of meta-sandstone-schist is often manifested; 5 – Upper Ananra sub-formation; quartz-feldspar meta-sandstones in coarse intercalation with carbon schists; 6 – Lower Ananra sub-formation; quartz-feldspar metasandstones, intercalations and strata of weakly carbonaceous shales; 7 – Vacha series; quartz meta sandstones, micaceous quartz schists, high carbon; 8 – Aunakit series, Upper Aunakit sub-formation; carbon-micaceous-quartz schists, carbonaceous sandstones and meta-siltites; 9 – dislocation faults: a – mapped, b – hidden under the Quaternary deposits, c – overthrust; 10 – thrust-fault zone with flexural deformation; 11 – alluvial gold deposits: a – explored, b – spent; 12 – ore zone No. 1, opened by mine workings (a), by the deluvial fragments and deposit aureoles of gold (b); 13 – deposit contour



компании в Бодайбинском районе. Золоторудная минерализация месторождения картируется в виде зон интенсивной гидротермально-метасоматической переработки (минерализованные зоны), а участки с повышенным содержанием золота классифицируются как рудные жильно-прожилковые зоны.

Данные зоны представляют собой сочетание жил, согласных со сланцеватости и поверхности надвига с кососекущими жилами, образующими кулисную систему внутри надвиговой зоны.

Надвиговая зона характеризуется достаточно отчетливыми геологическими границами – кроме наличия значительного количества жильно-прожилкового материала в поверхностных условиях от вмещающих пород минерализованная зона отличается также рыжим цветом рассланцованных вмещающих пород (за счет выщелачивания сидерита-анкерита). Минерализованная зона имеет сложное внутреннее строение. Жилы и прожилки, изученные в карьере, в канавах, расчистках и по керну скважин, представлены несколькими генерациями, имеют различную морфологию и ориентировку.

Первая наиболее древняя синметаморфическая генерация представлена кианит-кварцевыми жилами и прожилками. Мощность таких жил обычно не превышает 0,4–0,5 м, они могут как залегать субсогласно сланцеватости и слоистости, так и сечь ее под разными углами.

Вторая рудная генерация представлена сидерит-кварцевыми жилами и прожилками, которые в основном и образуют рудную жильно-прожилковую зону.

Третья генерация жил и прожилков – секущие по отношению к складчатой структуре жилы, имеющие обычно субвертикальное залегание и плитообразную морфологию, иногда с апофизами по сланцеватости.

Рудные тела характеризуются отчетливыми геологическими границами – наличием значительного количества жильно-прожилкового материала и рыжим цветом рассланцованных пород за

счет выщелачивания бурого шпата. Насыщенность минерализованной зоны жильно-прожилковым материалом различна, и золотоносность определяется степенью этой насыщенности: в рудных интервалах она составляет обычно 5–15 %, иногда достигая 30–40 %. На фоне безрудных вмещающих неизменных пород зона выделяется содержаниями золота более 0,05–0,1 г/т. Рудные тела внутри минерализованной зоны представляют пологие жильно-прожилковые рудные зоны с залеганием, близким к залеганию сланцеватости.

Сульфидная минерализация весьма убога и представлена пирротинном, пиритом и марказитом, в меньшей степени распространены арсенопирит, халькопирит, ильменит, рутил, висмутин, турмалин и единичные зерна видимого золота, часто в ассоциации с пирротинном. Золотая минерализация приурочена к мало-сульфидным карбонатно-кварцевым жилам и зонам прожилкования в метасланцах, в основном к приконтактовым зонам и ксенолитам метасланцев в жилах. Наблюдается связь золота с пирротинном, арсенопиритом, кварцем и карбонатами. И пирротин, и арсенопирит в зальбандах жил образуют скопления ксеноморфных и правильных кристаллов – как друг с другом, так и с золотом. Отдельные золотины часто включают в себя вкрапленность пирротина, или, наоборот, золотины обрастают пирротинном. Золото часто имеет неправильные ветвистые очертания. Встречаются золотины пластинчатой и комковатой формы. Преобладающим размером, дающим весовые количества свободного металла, является крупность от 0,2 до 1,5 мм. Золото из зоны окисления часто встречается в лимонитовой рубашке.

В 2018 г. геологической службой ПАО «Высочайший» была проведена программа бурения РС для более детального изучения структуры объекта. Объем бурения составил более 8000 м. Результатом программы бурения стало увеличение ресурсной базы месторождения почти в два раза (более 3 т золота) (табл. 6).



Таблица 6

Данные о запасах месторождения Ожерелье

Table 6

Data on the reserves of the Ozhereliye field

Показатель	Руда, тыс. т	Среднее Содержание, г/т	Металл, кг
Поставлено на баланс 01.01.2014 г.	1048	3,68	3860
Добыто на 01.01.2019 г.	40,3	1,5	60,3
Осталось на 01.01.2019 г.*	1760	1,89	3318
Прирост по программам геологоразведочных работ 2018 (8000 м)	1326,6	2,36	3133
Остаток с приростом**	3086,6	2,09	6451
Общие запасы месторождения***	3126,9	2,08	6511,3

Примечание: * – балансовые запасы на 01.01.2019 г. с учетом переоценки запасов геологической службой ПАО «Высочайший» без учета геологоразведочных работ 2018 г.; ** – балансовые запасы месторождения с учетом геологоразведочных работ 2018 г.; *** – балансовые запасы месторождения с учетом остатка с приростом и добытого на 01.01.2019 г.

Note: * – reserves for 01.01.2019 with the account of the reevaluation by the Geological Service of PJSC 'Vysochaishy' excluding the geological exploration work of 2018; ** – reserves with the account of the geological exploration work of 2018; *** – reserves with the account of the residuum with a gain and that mined for 01.01.2019.

Увеличение объема полезного компонента произошло как за счет увеличения мощности рудной зоны, выявленной работами предшественников [33], так и за счет вновь выявленных зон.

Заключение

На основе модели гидротермально-метасоматического образования золоторудных месторождений Бодайбинского района [2, 41, 42] была составлена программа бурения – доразведка флангов и глубоких горизонтов на месторождениях Угахан, Голец Высочайший, Ыкан и Ожерелье. Особое внимание было уделено поискам слепого оруденения, приуроченного к потенциально рудоносным толщам (бужуихтинская, хомолхинская, аунакитская и догалдынская свиты) на крыльях и на глубоких горизонтах в ядерных частях антиклинальных складок.

По итогам буровой программы 2018 г. можно выделить следующие результаты:

1. Прирост запасов и ресурсов на месторождениях Угахан, Голец Высочайший и Ожерелье. На данный момент минерально-сырьевая база компании ПАО «Высочайший» в Бодайбинском районе составляет: запасы – 72390 кг золота (19911,3 кг – прирост от буровой программы 2018 г.); ресурсы – 123488 кг золота (43613 кг – прирост от буровой программы 2018 г.).

2. Выявлены новые зоны с золоторудной минерализацией на глубоких горизонтах в ядре антиклинальной складки (месторождение Голец Высочайший) и в пологом крыле антиклинальной складки на месторождении Угахан.

Библиографический список

1. Иванов А.И. Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). М.: Изд-во ЦНИГРИ, 2014. 215 с.

2. Немеров В.К., Станевич А.М., Развозжаева Э.А., Будяк А.Е., Корнилова Т.А. Биогенно-седиментационные факторы рудообразования в неопротерозойских толщах байкало-патомского региона // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 5. С. 729–747.

3. Чугаев А.В., Чернышев И.В. Pb-Pb изотопная систематика орогенных месторождений золота Байкало-Патомского складчатого пояса (Северное Забайкалье, Россия) и оценка роли неопротерозойской коры в их формировании // Геохимия. 2017. № 11. С. 1027–1040.

4. Чугаев А.В., Будяк А.Е., Чернышев И.В., Дубинина Е.О., Гареев Б.И., Шатагин К.Н. [и др.]. Изотопные (Sm-Nd, Pb-Pb и $\delta^{34}\text{S}$) и геохимические



характеристики метаосадочных пород Байкало-Патомского пояса (Северное Забайкалье) и эволюция осадочного бассейна в неопротерозойское время // Петрология. 2018. Т. 26. № 3. С. 213–244.

5. Будяк А.Е., Паршин А.В., Спиридонов А.М., Реутский В.Н., Дамдинов Б.Б., Волкова М.Г. [и др.]. Геохимические особенности формирования Au–U месторождений типа «несогласия» (Северное Забайкалье) // Геохимия. 2017. № 2. С. 149–160.

6. Юдовская М.А., Дистлер В.В., Родионова Н.В., Мохов А.В., Антонов А.В., Сергеев С.А. Соотношение процессов метаморфизма и рудообразования на золотом черносланцевом месторождении Сухой Лог по данным U–Th–Pb–изотопного SRIMP-датирования акцессорных минералов // Геология рудных месторождений. 2011. Т. 53. № 1. С. 32–64.

7. Yudovskaya M.A., Distler V.V., Prokofiev V.Yu., Akinfiyev N.N. Gold mineralisation and orogenic metamorphism in the Lena province of Siberia as assessed from Chertovo Koryto and Sukhoi Log deposits // Geoscience Frontiers. 2016. № 7. P. 453–481.

8. Kuznetsov A.B., Ovchinnikova G.V., Gorokhov I.M., Letnikova E.F., Kaurova O.K., Konstantinova G.V. Age constraints on the Neoproterozoic Baikal Group from combined Sr isotopes and Pb–Pb dating of carbonates from the Baikal type section, southeastern Siberia // Journal of Asian Earth Sciences. 2013. Vol. 62. P. 51–66.

9. Чумаков Н.М., Капитонов И.Н., Семихатов М.А., Леонов М.В., Рудько С.В. Вендский возраст верхней части Патомского комплекса средней Сибири: U–Pb la–icrims датировки обломочных цирконов Никольской и Жербинской свит // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2011. Т. 19. № 2. С. 115–119.

10. Покровский Б.Г., Буякайте М.И. Геохимия изотопов С, О и Sr в неопротерозойских карбонатах юго-западной части Патомского палеобассейна, юг Средней Сибири // Литология и полезные ископаемые. 2015. № 2. С. 159–186. <https://doi.org/10.7868/S0024497X15010048>

11. Powerman V., Shatsillo A., Chumakov N. Interaction between the Central Asian Orogenic Belt (CAOB) and the Siberian craton as recorded by detrital zircon suites from Transbaikalia // Precambrian Research. 2015. Vol. 267 (1). P. 39–71. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.05.015>

12. Будяк А.Е., Брюханова Н.Н. Селен, висмут и ртуть месторождений золота различных генетических типов в черносланцевых формациях // Геохимия. 2012. № 9. С. 881–888.

13. Будяк А.Е., Горячев Н.А., Скузоватов С.Ю. Геодинамические предпосылки формирования масштабного оруденения южного обрамления Сибирского кратона в протерозое // Доклады Академии наук. 2016. Т. 470. № 5. С. 562–565. <https://doi.org/10.7868/S0869565216290181>

14. Будяк А.Е., Скузоватов С.Ю., Тарасова Ю.И., Ванг К.-Л., Горячев Н.А. Единая неопротерозой-раннепалеозойская эволюция рудоносных осадочных комплексов юга Сибирского кратона // Доклады Академии наук. 2019. Т. 484. № 3. С. 335–339. <https://doi.org/10.31857/S0869-56524843335-339>

15. Чернышев И.В., Чугаев А.В., Сафонов Ю.Г., Сароян М.В., Юдовская М.А., Еремина А.В. Изотопный состав свинца по данным высокоточного MS–ICP–MS–метода и источники вещества крупномасштабного благороднометалльного месторождения Сухой Лог (Россия) // Геология рудных месторождений. 2009. Т. 51. № 6. С. 550–559.

16. Паленова Е.Е., Белогуб Е.В., Плотинская О.Ю., Новоселов К.А., Масленников В.В., Котляров В.А. [и др.]. Эволюция состава пирита на золоторудных месторождениях Копыловское и Кавказ в черносланцевых толщах (Бодайбинский район, Россия) по данным РСМА и ЛА–ИСП–МС // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. № 1. С. 71–92. <https://doi.org/10.7868/S0016777015010025>

17. Гладкочуб Д.П., Станевич А.М., Мазукабзов А.М., Донская Т.В., Писаревский С.А., Николь Г. [и др.]. Ранние этапы развития Палеоазиатского океана: данные по LA–ICP–MS датированию детритовых цирконов из позднедокембрийских толщ южного фланга Сибирского кратона // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 10. С. 1472–1490.

18. Palenova E.E., Yudovskaya M.A., Frei D., Rodionov N.V. Detrital zircon U–Pb ages of Paleoproterozoic black shales of the Baikal–Patom Highlands in Siberia with implications for timing of metamorphism and gold mineralization // Journal of Asian Earth Sciences. 2019. Vol. 174. P. 37–58. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2018.10.022>

19. Казакевич Ю.П., Шер С.Д., Жаднова Т.П., Стороженко А.А., Кондратенко А.К., Николаева Л.А. [и др.]. Ленский золотоносный район // Стратиграфия, тектоника, магматизм и проявление коренной золотоносности: труды ЦНИГРИ. Вып. 85. М.: Недра, 1971. 164 с.

20. Зорин Ю.А., Мазукабзов А.М., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Пресняков С.Л., Сергеев С.А. Силурийский возраст главных складчатых деформаций рифейских отложений Байкало-Патомской зоны // Доклады Академии наук. 2008. Т. 423. № 2. С. 228–233.

21. Бухаров А.А., Халилов В.А., Страхова Т.М., Черников В.В. Геология Байкало-Патомского нагорья по новым данным уран-свинцового датирования акцессорного циркона. // Геология и геофизика. 1992. Т. 33. № 12. С. 29–40.

22. Лаверов Н.П., Чернышев И.В., Чугаев А.В., Баирова Э.Д., Гольцман Ю.В., Дистлер В.В. [и др.]. Этапы формирования крупномасштабной благороднометалльной минерализации месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь): результаты



изотопно-геохронологического изучения // Доклады Академии наук. 2007. Т. 415. № 2. С. 236–241.

23. Цыганков А.А., Матуков Д.И., Бережная Н.Г., Ларионов А.Н., Посохов В.Ф., Цыренов Б.Ц. [и др.]. Источники магм и этапы становления позднепалеозойских гранитоидов западного Забайкалья // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 1. С. 156–180.

24. Цыганков А.А., Литвиновский Б.А., Джань Б.М., Рейков М., Лю Д.И., Ларионов А.Н. [и др.]. Последовательность магматических событий на позднепалеозойском этапе магматизма Забайкалья (результаты U-Pb изотопного датирования) // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 9. С. 1249–1276.

25. Иванов А.И., Лившиц В.И., Перевалов О.В., Страхова Т.М., Яблоновский Б.В. Докембрий Патомского нагорья. М.: Недра, 1995. 352 с.

26. Варшалл Г.М., Велюханова Т.К., Кошчева И.Я. [и др.]. О концентрировании благородных металлов углеродистым веществом пород // Геохимия. 1994. № 6. С. 814–824.

27. Вилор Н.В., Кажарская М.Г., Бычинский В.А., Костянецкая Ж.В., Меньшиков В.И., Баранов В.А. Геохимические корреляции и динамика соотношений «раствор-порода» в рудоносных флюидных системах // Геохимия. 2003. № 12. С. 1305–1317.

28. Ганжа Г.Б., Развозжаева Э.А. Органическое вещество в осадочных породах Вернинского золоторудного месторождения, Патомское нагорье // Руды и металлы. 2014. № 3. С. 65–73.

29. Meffre S., Large R.R., Scott R., Woodhead J., Chang Z., Gilbert S.E., et al. Age and pyrite Pb isotopic composition of the giant Sukhoi Log sediment-hosted gold deposit, Russia // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2008. Vol. 72. P. 2377–2391. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.03.005>

30. Large R.R., Maslennikov V.V., Robert F., Danyushevsky L.V., Chang Z. Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena Goldfield, Russia // *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*. 2007. V. 102. No. 7. P. 1233–1267.

31. Чугаев А.В., Плотинская О.Ю., Чернышев И.В., Котов А.А. Неоднородность изотопного состава Pb в сульфидах различных парагенетических ассоциаций на золоторудном месторождении Вернинское (Байкало-Патомское нагорье, Россия) // Доклады Академии наук. 2014. Т. 457. № 3. С. 337–342. <https://doi.org/10.7868/S0869565214210191>

32. Иконникова Т.А., Дубинина Е.О., Сароян М.Р., Чугаев А.В. Изотопный состав кислорода жильного кварца и вмещающих пород на месторождении Сухой Лог (Россия) // Геология рудных месторождений. 2009. Т. 51. № 6. С. 560–567.

33. Иванов А.И. Латерально-вертикальная рудно-металлогеническая зональность как основа районирования Байкало-Патомской рудной провинции // Руды и металлы. 2010. № 1. С. 60–68.

34. Parshin A., Grebenkin N., Morozov V., Shikalenko F. Research note: first results of a low-altitude unmanned aircraft system gamma survey by comparison with the terrestrial and aerial gamma survey data // *Geophysical Prospecting*. 2018. Vol. 66. Iss. 7. P. 1433–1438. <https://doi.org/10.1111/1365-2478.12650>

35. Parshin A.V., Morozov V.A., Blinov A.V., Kosterev A.N., Budyak A.E. Low-altitude geophysical magnetic prospecting based on multicopter UAV as a promising replacement for traditional ground survey // *Geo-Spatial Information Science*. 2018. Vol. 21. Iss. 1. P. 67–74. <https://doi.org/10.1080/10095020.2017.1420508>

36. Паршин А.В., Будяк А.Е., Блинов А.В., Костерев А.Н., Морозов В.А., Михалев А.О. [и др.]. Низковысотная беспилотная аэромагниторазведка в решении задач крупномасштабного структурно-геологического картирования и поисков рудных месторождений в сложных ландшафтных условиях. Часть 2 // География и природные ресурсы. 2016. № S6. С. 150–155.

37. Будяк А.Е., Горячев Н.А., Развозжаева Э.А., Спиридонов А.М., Соцкая О.Т., Брюханова Н.Н. Геохимия рассеянного органического вещества в золоторудных месторождениях черносланцевых формаций // Доклады Академии наук. 2015. Т. 463. № 6. С. 692–695. <https://doi.org/10.7868/S0869565215240160>

38. Goldfarb R.J., Baker T., Dube B., Groves D.I., Hart C.J.R., Gosselin P. Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes // *Economic Geology*. 2005. Vol. 100. P. 407–450.

39. Groves D.I., Goldfarb R.J., Gebre-Mariam M., Hagemann S.G., Robert F. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types // *Ore Geology Reviews*. 1998. Vol. 13. Iss. 1–5. P. 7–27. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(97\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(97)00012-7)

40. Groves D.I., Goldfarb R.J., Gardoll S. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis // *Ore Geology Reviews*. 2001. Vol. 18. Iss. 1–2. P. 1–75. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(01\)00016-6](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(01)00016-6)

41. Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. М.: Недра, 1982. 256 с.

42. Буряк В.А., Хмелевская Н.М. Сухой Лог – одно из крупнейших золоторудных месторождений мира (генезис, закономерности размещения оруденения, критерии прогнозирования). Владивосток: Дальнаука, 1997. 156 с.



References

1. Ivanov AI. *Gold of Baikal-Patom (Geology, Mineralization, and Prospects)*. Moscow: Central Research Institute of Geological Prospecting for Basic and Precious Metals; 2014. 215 p. (In Russ.)
2. Nemerov VK, Razvozzhaeva EA, Budyak AE, Stanevich AM, Kornilova TA. Biogenic sedimentation factors of ore formation in the Neoproterozoic series of the Baikal-Patom area. *Geologiya i geofizika*. 2010;51(5):729–747. (In Russ.)
3. Chugaev AV, Chernyshev IV. Pb-Pb isotopic systematics of the orogenic gold fields of the Baikal-Patom fold belt (Northern Transbaikalia, Russia) and evaluation of the role of the Neoproterozoic crust in the fields formation. *Geokhimiya*. 2017;11:1027–1040. (In Russ.)
4. Chugaev AV, Budyak AE, Chernyshev IV, Dubinina EO, Gareev BI, Shatagin KN, et al. Isotopic (Sm-Nd, Pb-Pb, and $\delta^{34}\text{S}$) and geochemical characteristics of the meta-sedimentary rocks of the Baikal-Patom belt (Northern Transbaikalia), and evolution of the sedimentary basin in the Neoproterozoic period. *Petrologiya*. 2018;26(3):213–244. (In Russ.)
5. Budyak AE, Parshin AV, Spiridonov AM, Reutsky VN, Damdinov BB, Volkova MG, et al. Geochemical peculiarities of formation of Au-U deposits of the “nonconcurrency” type (Northern Transbaikalia). *Geokhimiya*. 2017;2:149–160. (In Russ.)
6. Yudovskaya MA, Distler VV, Rodionov NV, Mokhov AV, Antonov AV, Sergeev SA. Correlation of the metamorphism and orogenic processes at the Sykhoy Log black-slate gold field (by the data of U-Th-Pb isotopic SRIMP dating of the accessory minerals). *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 2011;53(1):32–64. (In Russ.)
7. Yudovskaya MA, Distler VV, Prokofiev VYu, Akinfiyev NN. Gold mineralisation and orogenic metamorphism in the Lena province of Siberia as assessed from Chertovo Koryto and Sukhoi Log deposits. *Geoscience Frontiers*. 2016;7:453–481.
8. Kuznetsov AB, Ovchinnikova GV, Gorokhov IM, Letnikova EF, Kaurova OK, Konstantinova GV. Age constraints on the Neoproterozoic Baikal Group from combined Sr isotopes and Pb–Pb dating of carbonates from the Baikal type section, southeastern Siberia. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2013;62:51–66.
9. Chumakov NM, Kapitonov IN, Semikhatov MA, Leonov MV, Rud'ko SV. Vendian age of the Upper Patom complex of Middle Siberia: U-Pb La-ICP-MS dating of clastic zircons of the Nilolskaya and Zherbinskaya suites. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*. 2011;19(2):115–119. (In Russ.)
10. Pokrovsky BG, Bujakaite MI. Geochemistry of C, O and Sr isotopes in the Neoproterozoic carbonates of the Patom paleobasin south-west, the south of Middle Siberia. *Litologiya i poleznye iskopaemye*. 2015;2:159–186. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0024497X15010048>
11. Powerman V, Shatsillo A, Chumakov N. Interaction between the Central Asian Orogenic Belt (CAOB) and the Siberian craton as recorded by detrital zircon suites from Transbaikalia. *Precambrian Research*. 2015;267(1):39–71. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2015.05.015>
12. Budyak AE, Bryukhanova NN. Selenium, bismuth and mercury of gold fields of different genetic types in black-slate formations. *Geokhimiya*. 2012;9:881–888. (In Russ.)
13. Budyak AE, Goryachev NA, Skuzovatov SY. Geological background to the formation of the large-scale mineralization of the southern margin of the Siberian craton in the Proterozoic period. *Doklady Akademii nauk*. 2016;470(5):562–565. (In Russ.)
14. Budyak AE, Skuzovatov SY, Tarasova YI, Kuo-Lung Wang, Goryachev NA. Common Neoproterozoic–Early Paleozoic Evolution of Ore-Bearing Sedimentary Complexes in the Southern Siberian Craton. *Doklady Akademii nauk*. 2019;484(3):335–339. (In Russ.)
15. Chernyshev IV, Chugaev AV, Safonov YG, Saroyan MR, Yudovskaya MA, Eremina AV. Isotopic composition of plumbum by the data of the high-fidelity MC-ICP-MS method and the substance sources of the large-scale precious metal deposit (Sykhoy Log field, Russia). *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 2009;51(6):550–559. (In Russ.)
16. Palenova EE, Belogub EV, Plotinskaya OY, Novoselov KA, Maslennikov VV, Kotlyarov VA, et al. Evolution of pyrite composition in the black-slate strata of the Kopylovskoye and Kavkaz gold fields (Bodaibo region, Russia) according to the EPMA and La-ICP-MS data. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 2015;57(1):71–92. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0016777015010025>
17. Gladkochub DP, Stanevich AM, Mazukabzov AM, Donskaya TV, Pisarevsky SA, Nicoll G, et al. Early evolution of the Paleasian ocean: LA-ICP-MS dating of detrital zircon from Late Precambrian sequences of the southern margin of the Siberian craton. *Geologiya i geofizika*. 2013;54(10):1472–1490. (In Russ.)
18. Palenova EE, Yudovskaya MA, Frei D, Rodionov NV. Detrital zircon U–Pb ages of Paleoproterozoic black shales of the Baikal-Patom Highlands in Siberia with implications to timing of metamorphism and gold mineralization // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2019;174:37–58. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2018.10.022>
19. Kazakevich YuP, Sher SD, Zhadnova TP, Storozhenko AA, Kondratenko AK, Nikolaeva LA, et al. Lensky gold-bearing region. In: *Stratigrafiya, tektonika, magmatizm i proyavlenie korennoi zolotonostnosti: trudy Tsentral'nogo nauchno-issledovatel'skogo geologorazvedochnogo instituta tsvetnykh i blagorodnykh metallov* = Stratigraphy, tectonics, magmatism and the manifestation of the bedrock's gold bearing capacity: Proceedings of Central Research Geological Prospecting Institute of



non-ferrous and precious metals. Iss. 85. Moscow: Nedra; 1971. 164 p. (In Russ.)

20. Zorin YuA, Mazukabzov AM, Gladkochub DP, Donskaya TV, Presnyakov SL, Sergeev SA. The major Silurian folded deformations of the Riphean sediments: Baikal-Patom zone. *Doklady Akademii nauk*. 2008;423(2):228–233. (In Russ.)

21. Bukharov AA, Khalilov VA, Strakhova TM, Chernikov VV. Geology of the Baikal-Patom upland by the new data on U-Pb dating of accessory zircon. *Geologiya i geofizika*. 1992;33(12):29–40. (In Russ.)

22. Laverov NP, Chernyshev IV, Chugaev AV, Bairova ED, Gol'tsman YV, Distler VV, et al. Stages of the large-scale precious metal mineralization at the Sukhoy Log field, Eastern Siberia: the results of the isotopic geochronological study. *Doklady Akademii nauk*. 2007;415(2):236–241. (In Russ.)

23. Tsygankov AA, Matukov DI, Berezhnaya NG, Larionov AN, Posokhov VF, Tsyrenov BTs, et al. Magma sources and the stages of the Late Paleozoic granitoids formation, Western Transbaikalia. *Geologiya i geofizika*. 2007;48(1):156–180. (In Russ.)

24. Tsygankov AA, Litvinovsky BA, Jahn BM, Reichow MK, Liu DY, Larionov AN, et al. Sequence of magmatic events in the Late Paleozoic of Transbaikalia, Russia (U-Pb isotope data). *Geologiya i geofizika*. 2010;51(9):1249–1276. (In Russ.)

25. Ivanov AI, Livshits VI, Perevalov OV, Strakhova TM, Yablonovskii BV. Precambrian of the Patom Highlands. Moscow: Nedra; 1995. 352 p. (In Russ.)

26. Varshall GM, Velyukhanova TK, Koshcheeva IYa, et al. On concentrating non-ferrous metals with the rocks' carbonaceous substance. *Geokhimiya*. 1994;6:814–824. (In Russ.)

27. Vilor NV, Kazharskaya MG, Bychinskii VA, Kostyanetskaya ZhV, Men'shikov VI, Baranov VA. Geochemical correlations and the dynamics of the "solution-rock" relations in ore-bearing fluid systems. *Geokhimiya*. 2003;12:1305–1317. (In Russ.)

28. Ganzha G.B., Razvozhayeva E.A. Organic substance in sedimentary rocks of Verninskoye gold deposit, Patom uplands. *Rudy i metally*. 2014;3:65–73. (In Russ.)

29. Meffre S, Large RR, Scott R, Woodhead J, Chang Z, Gilbert SE, et al. Age and pyrite Pb isotopic composition of the giant Sukhoy Log sediment-hosted gold deposit, Russia. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2008;72:2377–2391. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2008.03.005>

30. Large RR, Maslennikov VV, Robert F, Danyushevsky LV, Chang Z. Multitage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoy Log deposit, Lena Goldfield, Russia. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*. 2007;102(7):1233–1267.

31. Chugaev AV, Plotinskaya OYu, Chernyshev IV, Kotov AA. Lead isotope heterogeneity in sulfides from different assemblages at the Verninskoe gold deposit (Baikal-Patom Highland,

Russia). *Doklady Akademii nauk*. 2014;457(3):337–342. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0869565214210191>

32. Ikonnikova TA, Dubinina EO, Saroyan MR, Chugaev AV. Isotopic composition of the seam quartz oxygen and the host rock: the Sukhoy Log field, Russia. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 2009;51(6):560–567. (In Russ.)

33. Ivanov AI. Lateral-vertical ore-metallogenetic zonation as the basis for districting of the Baikal-Patom gold-mining province. *Rudy i metally*. 2010;1:60–68. (In Russ.)

34. Parshin A, Grebenkin N, Morozov V, Shikalenko F. Research note: first results of a low-altitude unmanned aircraft system gamma survey by comparison with the terrestrial and aerial gamma survey data. *Geophysical Prospecting*. 2018;66(7):1433–1438. <https://doi.org/10.1111/1365-2478.12650>

35. Parshin AV, Morozov VA., Blinov AV, Kosterev AN, Budyak AE. Low-altitude geophysical magnetic prospecting based on multirotor UAV as a promising replacement for traditional ground survey. *Geo-Spatial Information Science*. 2018;21(1):67–74. <https://doi.org/10.1080/10095020.2017.1420508>

36. Parshin AV, Budyak AE, Blinov AV, Kosterev AN, Morozov VA, Mikhalev AO, et al. Low-altitude unmanned aeromagnetic survey in management of large-scale structuralgeological mapping and prospecting for ore deposits in composite topography. Part 2. *Geografiya i prirodnye resursy*. 2016;S6:150–155. (In Russ.)

37. Budyak AE, Goryachev NA, Razvozhayeva EA, Spiridonov AM, Sotskaya OT, Bryukhanova NN. Geochemistry of the scattered organic substance at gold fields of black-slate formations. *Doklady Akademii nauk*. 2015;463(6):692–695. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0869565215240160>

38. Goldfarb RJ, Baker T, Dube B., Groves D.I., Hart C.J.R., Gosselin P. Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes. *Economic Geology*. 2005;100:407–450.

39. Groves DI, Goldfarb RJ, Gebre-Mariam M, Hagemann SG, Robert F. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*. 1998;13(1–5):7–27. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(97\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(97)00012-7)

40. Groves DI, Goldfarb RJ, Gardoll S. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis. *Ore Geology Reviews*. 2001;18(1–2):1–75. [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(01\)00016-6](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(01)00016-6)

41. Buryak VA. *Metamorphism and ore formation*. Moscow: Nedra; 1982. 256 p. (In Russ.)

42. Buryak VA, Khmelevskaya NM. *Sukhoy Log, one of the world's largest gold deposits: genesis, regularities in mineralization location, and forecasting criteria*. Vladivostok: Dal'nauka; 1997. 156 p. (In Russ.)



Критерии авторства / Authorship criteria

Бабяк В.Н., Блинов А.В., Тарасова Ю.И., Будяк А.Е. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Valery N. Babyak, Anton V. Blinov, Julia I. Tarasova, Alexander E. Budyak are the authors of the article, hold equal copyright and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов / Responsibility for plagiarism

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All authors have read and approved the final version of this manuscript.

Сведения об авторах / Information about the authors



Бабяк Валерий Николаевич,

ресурсный геолог,
ПАО «Высочайший»,
119017, г. Москва, Кадашевская набережная, 14, Россия,
аспирант,
лаборатория геохимии рудообразования и геохимических методов поисков,
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия,
e-mail: vnb@gvgold.ru

Valery N. Babyak,

Resource Geologist,
GV Gold,
14 Kadashevskaya Embankment, Moscow 119017, Russia,
Postgraduate,
Laboratory of Ore Formation Geochemistry and Geochemical Prospecting Methods,
Vinogradov Institute of Geochemistry, SB RAS,
1a Favorsky St., Irkutsk 664033, Russia,
e-mail: vnb@gvgold.ru



Блинов Антон Валерьевич,

младший научный сотрудник,
лаборатория геохимии рудообразования и геохимических методов поисков,
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия,
✉ e-mail: belor_cool@mail.ru

Anton V. Blinov,

Junior Researcher,
Laboratory of Ore Formation Geochemistry and Geochemical Prospecting Methods,
Vinogradov Institute of Geochemistry, SB RAS,
1a Favorsky St., Irkutsk 664033, Russia,
✉ e-mail: belor_cool@mail.ru



Тарасова Юлия Игоревна,

кандидат геолого-минералогических наук,
старший научный сотрудник,
лаборатория геохимии рудообразования и геохимических методов поисков,
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия,
научный сотрудник,
Иркутский научный центр СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия,
e-mail: j.tarasova84@yandex.ru

**Julia I. Tarasova,**

Cand. Sci. (Geol. & Mineral.),

Senior Researcher,

Laboratory of Ore Formation Geochemistry and Geochemical Prospecting Methods,

Vinogradov Institute of Geochemistry, SB RAS,

1a Favorsky St., Irkutsk 664033, Russia,

Researcher,

Irkutsk Scientific Center, SB RAS,

134 Lermontov St., Irkutsk 664033, Russia,

e-mail: j.tarasova84@yandex.ru

**Будяк Александр Евгеньевич,**

кандидат геолого-минералогических наук,

заместитель директора по научной работе,

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН,

664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия,

e-mail: budyak@igc.irk.ru

Alexander E. Budyak,

Cand. Sci. (Geol. & Mineral.),

Deputy Director for Research,

Vinogradov Institute of Geochemistry, SB RAS,

1a Favorsky St., Irkutsk 664033, Russia,

e-mail: budyak@igc.irk.ru