

разностороннего объема фактических данных, непосредственно касающихся реально выявленных залежей нефти и критериев оценки ее потенциальных ресурсов. Региональные исследования, выполненные российскими организациями на прилегающих к архипелагу акваториях и на Баренцевоморском шельфе, позволили говорить о принципиальном сходстве геологического строения Шпицбергена и других геоструктур Баренцевской шельфовой плиты, в особенности Печорской синеклизы, что открывает возможность для сравнительной оценки их нефтегазоносных потенциалов (рис. 7).

Полученная за 40 лет исследований сумма эмпирических данных говорит о том, что перспективы выявления на Шпицбергене крупных скоплений нефти могут оцениваться не ниже, чем на Печорской провинции. Помимо обнаружения нефтяных залежей на суше архипелага, проведенные исследования служат серьезным обоснованием перспективности прилегающего шельфа, в изучение которого МАГЭ вложила много усилий. Было бы целесообразно использовать имеющиеся возможности реализовать накопленный интеллектуальный потенциал и не предать забвению труды, затраченные на его приобретение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абакумов, С.А. Стратиграфический словарь Шпицбергена / С.А. Абакумов, Б.П. Гаврилов, М.В. Корчинская и др. / Под ред. И.С. Грамберга (гл. ред.). — Л.: Недра, ПМГРЭ ПГО «Севморгеология», 1990. — 203 с.
2. Бархатов, Б.П. Основные этапы тектонического развития архипелага Шпицберген / Б.П. Бархатов // Вестник ЛГУ. — 1969. — № 6. — Вып. 1.
3. Верба, В.В. Отражение структуры фундамента Шпицбергенского шельфа в магнитном поле / В.В. Верба, А.А. Красильщиков, Ю.Я. Лившиц / Аномалии геомагнитного поля и глубинное строение земной коры: Матер. междунар. рабочего совещания. — Киев: Наукова думка, 1982. — С. 93–95.

4. Верба, В.В. Основные черты тектонического строения северо-западной части шельфа Баренцева моря / В.В. Верба, А.А. Красильщиков, Ю.Я. Лившиц / Геолого-геофизические исследования в Баренцево-Карском регионе. — Л.: НИИГА, 1979. — С. 23–27.
5. Верба, М.Л. Коллекторные свойства пород осадочного чехла архипелага Шпицберген / М.Л. Верба // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — 2013. — Т. 8. — № 1. — http://www.ngtp.ru/rub/4/5_2013.pdf.
6. Верба, М.Л. Геологические и геохимические предпосылки перспектив нефтеносности среднепалеозойских отложений Андредиксонского авлакогена (Шпицберген) / М.Л. Верба // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — 2011. — Т. 7. — № 1.
7. Верба, М.Л. Проявления природных углеводородов в осадочном чехле Шпицбергена / М.Л. Верба // Нефтегазовая геология. Теория и практика. — 2007. — Т. 2. — <http://www.ngtp.ru/rub/6/018.pdf>.
8. Верба, М.Л. Контактный метаморфизм каменноугольных отложений в зоне Биллефьордского разлома / М.Л. Верба // Разведка и охрана недр. — 2005. — № 1. — С. 26–5.
9. Верба, М.Л. Приток нефти из палеогеновых отложений Шпицбергена / М.Л. Верба / Геологическое строение перспективных акваторий Мирового океана. — Л.: Севморгео, 1989. — С. 55–65.
10. Верба, М.Л. Метаморфиты Биллефьордской зоны разломов на Шпицбергене — горст докембрийских пород, или палеозойская интрузия? / М.Л. Верба, Ю.Л. Верба / Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. Вып. 4. — СПб.: ВНИИ-Океангеология, 2002. — С. 178–198.
11. Верба, М.Л. Интрузивные пирокластиты Шпицбергена / М.Л. Верба, Ю.Л. Верба // Гранитоидные вулканоплутонические ассоциации: Тез. докл. Всеросс. совещания, Сыктывкар, Республика Коми, 21–23 мая 1997 г. — Сыктывкар: Ин-т геологии Коми НЦ УрО РАН, 1997. — С. 25–26.
12. Красильщиков, А.А. Стратиграфия и палеотектоника докембрия-раннего палеозоя Шпицбергена / А.А. Красильщиков / Под ред. В.Н. Соколова. — Л.: Недра. Тр. НИИГА. — Т. 172, 1973. — 120 с.
13. Harland, W.B. The Geology of Svalbard. / W.B. Harland // Geol. Soc. Memoir, 1997. — № 17, London. — 454 p.
14. Krasil'shikov, A.A. Soviet geological research in Svalbard 1962–1992 / A.A. Krasil'shikov (ed.). Extended abstracts of unpublished reports. Norsk Polarinst., Meddelelser NR 139, Oslo, 1996. — 103 p.
15. Ohta, Y. Recent understanding of the Svalbard basement in the light of new radiometric age determinations / Y. Ohta // Norsk Geologisk Tidsskrift. — 1992. — vol. 72. — Oslo. — pp. 1–5.

© Верба М.Л., Иванов Г.И., 2018

Верба Марк Леонидович // mark_verba@mail.ru
Иванов Геннадий Иванович // ivanov.gi@mage.ru

ГЕОФИЗИКА

УДК 553.411.071, 550.83

Татьков И.Г., Дамдинов Б.Б. (Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ)

ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ХАРАНУРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА В КОРАХ ВЫВЕТРИВАНИЯ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ ВОСТОЧНОГО САЯНА)

В результате комплексных геолого-геофизических работ на территории Харанурского рудопроявления в 2013–2014 гг. по буровым профилям собран уникальный материал о геологическом строении и отражении известных структурных элементов в геофизических полях. По итогам обработки с привлечением данных детального бурения были определены основные достоинства и недостатки

применяемых геофизических методов и составлена комплексная геолого-геофизическая поисковая модель месторождений золота в корях выветривания, известных на территории Восточного Саяна. Ключевые слова: Восточный Саян, Харанур, золото, коры выветривания, геофизические методы, электроразведка, моделирование.

Tatkov I.G., Damdinov B.B. (Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude)

GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL MODEL OF KHARANUR GOLD DEPOSIT IN WEATHERING CRUST (SOUTH-EASTERN PART OF EASTERN SAYAN)

As a result of complex geological and geophysical work on the territory of the Kharanur gold ore formation in 2013–2014, a unique material on the geological structure and reflection of known structural elements in geophysical fields has been col-

lected on the drilling profiles. Based on the results of processing with the use of detailed drilling data, the main advantages and disadvantages of the geophysical methods used were determined and a comprehensive geological and geophysical prospecting model of gold deposits in weathering crusts known in the territory of the Eastern Sayan was compiled. **Keywords:** Eastern Sayan, Kharanur, gold, weathering crust, geophysical method, electroprospecting, geophysical modeling.

Месторождения золота в корях выветривания — это новый для России и перспективный геолого-промышленный тип, который становится все более актуальным в связи с совершенствованием технологии кучного выщелачивания. Месторождения такого типа характеризуются благоприятными условиями промышленного освоения, поскольку располагаются в близповерхностных условиях и содержат свободное золото. Месторождения кор выветривания распространены и изучены в некоторых регионах России и Казахстана [7]. Чаще всего золотоносные коры выветривания формируются в элювиальных или коллювиально-делювиальных отложениях, перекрывающих первичные эндогенные золоторудные и золотосодержащие месторождения, рудопроявления или зоны рассеянной минерализации. В качестве самостоятельного геолого-промышленного типа золотого оруденения коры выветривания выделены относительно недавно в конце XX в. За рубежом такие объекты выделяются как месторождения, связанные с латеритами и сапролитами (Laterite and Saprolite gold deposits) и известны в Австралии, Габоне, Гайане, Бразилии, Китае и других странах (Bowell, 1992) [12–14, 17].

Золотоносные коры выветривания в горных сооружениях юга Сибири, куда относится и рассматриваемый регион, связаны с мел-палеогеновыми поверхностями выравнивания и развитыми в них процессами карсто- и корообразования [6].

Юго-восточная часть Восточного Саяна представляет собой типичную горную область, где сочетаются участки развития альпинотипного рельефа (хр. Кропоткина, Большой Саян (Пограничный), Китайские гольцы, Тункинские гольцы и др.) и высокогорного плато (Окинское плоскогорье) с глубоко врезаемыми долинами с крутыми склонами. Фрагменты древних поверхностей выравнивания датируются палеогеном и сохранились на вершинах платообразных горных массивов на уровне высотных отметок от 2000 до 2500 м. Часто на таких поверхностях развиты покровы базальтов, останцы которых фиксируются также и на вершинах хребтов с альпинотипным рельефом. В кайнозойское время регион был подвергнут нескольким циклам покровного оледенения, где максимальное развитие ледниковых покровов произошло в позднем плейстоцене (зырянское и сартанское оледенения) [9].

Поскольку формирование золотоносных кор выветривания происходило в палеогеновое время, то поверхности выравнивания часто перекрыты более поздними ледниковыми отложениями, а также покровными базальтами, что является одним из главных

препятствий для прогнозирования, поисков и разведки месторождений этого геолого-промышленного типа в Восточном Саяне. В этой связи особую актуальность приобретает сочетание геофизических методов поисков месторождений кор выветривания с геоморфологическим картированием, позволяющее при относительно небольших трудозатратах прогнозировать и обнаруживать перспективные участки. В статье приведены результаты опытно-методических геолого-геофизических исследований золотоносной коры выветривания Харанурского месторождения, пространственно совпадающей с одноименным фосфоритовым месторождением [8]. Работы проводились по буровым профилям, проходящим вкрест простирания главных структурных элементов месторождения, на основе которых были составлены эталонные геологические разрезы золотоносных кор выветривания.

Краткая геолого-геоморфологическая характеристика и вещественный состав Харанурского месторождения

Главными крупными тектоническими единицами юго-восточной части Восточного Саяна являются четыре структурно-формационные и одноименные им металлогенические зоны — Ильчирская, Гарганская, Окинская и Хамсаринская (Хойтоокинская) [2–4]. Общее простирание структур субширотное до северо-восточного. Границами выделенных зон служат ветви офиолитового комплекса Восточного Саяна — Ильчирская, разделяющая Гарганскую и Ильчирскую зоны, и Боксон-Харанурская, разделяющая Окинскую и Гарганскую зоны, а также Жомболокский глубинный разлом, отделяющий Хамсаринскую металлогеническую зону.

Район Харанурского месторождения приурочен к границе Гарганской и Окинской металлогенических зон и расположен в северном обрамлении Харанурского гипербазитового массива, представляющего собой фрагмент реститового комплекса офиолитов Ильчирской ветви. Область сопряжения двух указанных металлогенических зон состоит главным образом из разноранговых надвиговых пластин, обудцированных на комплексы параавтохтонной группы — гранито-гнейсы Гарганской «глыбы» — фрагмента фундамента Тувино-Монгольского микроконтинента (рис. 1). В основании аллохтона залегает вышеуказанный Харанурский офиолитовый массив (покров), перекрытый литокомплексами карбонатной фосфат-бокситоносной формации (Боксонский и Харанурский аллохтоны) и предполагаемой вулканогенной формацией задугового прогиба (Харатологийский аллохтон).

В рудном поле месторождения преобладают карбонатные породы, представленные доломитами (часто с окремнением различной морфологии) и темноцветными известняками, с прослоями углеродисто-сланцевых, слюдисто-карбонатно-кремнистых сланцев, силицитов, мергелей, отнесенные к забитской свите (V_{zb}) боксонской серии [8]. Фосфоритоносная пачка забитской свиты имеет сложное строение и может быть представлена как переслаивание доломитов, кремней, слюдисто-кремнистых сланцев и мало-

мощных слоев монофосфата. Между карбонатной толщей и ультрабазидами залегает туфогенно-осадочная пачка, представленная зеленовато-серыми туфопесчаниками, туфогравелитами, отнесенная к яматинской свите ($O-S_{jm}$).

К терригенно-карбонатной толще примыкают ультрабазиты Ильчирского комплекса, слагающие крупный *Харанурский массив*. Среди пород массива описаны среднезернистые в разной степени серпентинизированные гарцбургиты, дуниты, пироксениты, серпентиниты. В краевых частях массива ультрабазиты меланжированы и изменены до лиственитов, тальк-карбонатных пород и талькитов и прорываются дайками микродиоритов, которые также подвержены вторичным изменениям (березитизации).

В геоморфологическом отношении площадь Харанурского месторождения представляет собой широкую межгорную «депрессию» равнинного типа, отчетливо выделяющуюся на фоне окружающих горных отрогов и отдельных гольцовых массивов. В пределах этой «депрессии» сохранились реликты древней поверхности выравнивания — Харанурского пенеplена, которые фиксируются пологими участками увалисто-грядового рельефа, приуроченные к подножиям крупных гольцовых массивов. В современном рельефе Харанурское месторождение занимает гипсометрические уровни от 1950 м над уровнем моря в центральной части, до 2150 м на флангах. Отличительной чертой этой поверхности являются слабовыраженные положительные морфо-структуры, развивающиеся и фиксируемые по отдельным «островкам» более прочных пород, а также многочисленных карстовых воронки среди карбонатных образований. Граница пенеplена фиксируется либо уступом в верхней части длинного склона, либо сменой морфологических разновидностей склонов, хотя чаще всего проходит по подножию горных массивов.

В центральной части Харанурской «депрессии» установлены коры химического выветривания линейно-трещинного и карстового (контакто-карстового) типов (Миронов А.А., 2008) [8].

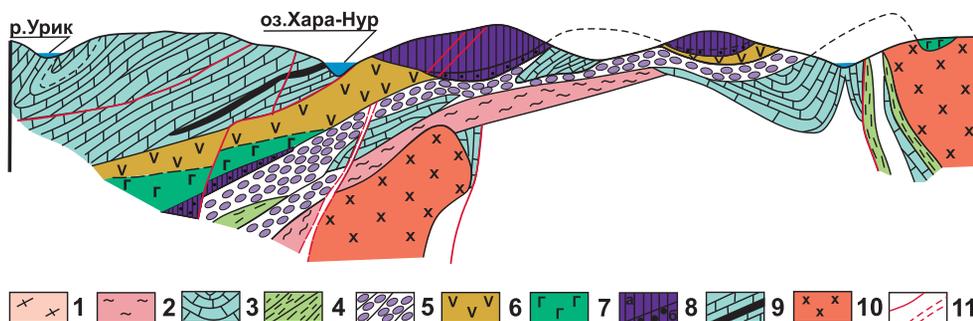


Рис. 1. Геологический разрез Гарганской глыбы и перекрывающих тектонических покровов офиолитов [3]: 1 — гранитоиднейсы гарганской свиты; 2 — зеленосланцевые диафориты; 3 — преимущественно карбонатные отложения монгошинской свиты; 4 — отложения ильчирской свиты с олистостромами карбонатно-кремнистых пород и вулканитов; 5–7 — офиолиты (5 — осадочно-вулканогенная, 6 — габброидная, 7 — ультрабазитовая); 8 — боксонская серия с горизонтом фосфоритов; 9 — сланцевые пачки гарганской (?) свиты; 10 — диориты и гранодиориты холбинского комплекса; 11 — места находок фауны

В геологическом отношении линейно-трещинные коры приурочены к контакту кварц-тальк-карбонатных лиственитов с породами сланцево-терригенно-карбонатной толщи, осложненному маломощными дайками березитизированных микродиоритов. Вдоль контактов даек отмечаются зоны тонкопрожилкового окварцевания и сульфидизации. Карстовая кора пространственно связана со сложной системой разрывных нарушений общего субширотного простирания, затрагивающих область контакта карбонатных отложений забитской свиты с туфогенно-карбонатной пачкой яматинской свиты. Максимальные глубины развития карста приурочены к зонам сопряжения продольного разлома и оперяющих его тектонических структур. Карстовые полости заполнены продуктами физического и химического выветривания подстилающих пород: пестроцветными суглинками, супесями, глинами с примесью дресвы и щебня. В разрезе коры выделяются три горизонта (сверху вниз): покровные делювиально-пролювиальные отложения, бесструктурная кора выветривания, структурная кора выветривания. Отложения линейных кор выветривания представлены продуктами физического и химического выветривания подстилающих пород. Здесь также выделяются три основных горизонта (сверху вниз): склоновые делювиально-пролювиальные отложения (преобладают обломки ультрабазитов и продуктов их вторичных изменений), бесструктурный песчано-глинистый элювий и структурный элювий дресвяно-щебнисто-суглинистого состава.

Внешне золотоносные отложения коры выветривания представляют собой красноцветные глины со слабо окатанными и неокатанными обломками подстилающих пород, среди которых часто встречаются продукты разрушения кварцевых жил, березитоподобных кварц-серицитовых метасоматитов, а также силицитов. Среди гравийных зерен обычен лимонит, в том числе его псевдоморфозы по кубическим и пентагон-додекаэдрическим кристаллам пирита. В составе тяжелой фракции шлиха, кроме доминирующего лимонита, присутствуют: магнетит, хромит, рутил и самород-

ное золото, а также пирит и гематит. В легкой фракции шлиха устанавливаются кварц (доминирует) и светлая слюда. Из гипергенных минералов широко распространены каолинит и галлуазит, кроме того часто встречаются гетит, гидрогетит, смектиты, бемит, иллиты.

Результаты анализа содержания элементов-примесей в золотоносных глинистых отложениях позволяют сделать вывод о том, что химический состав пород коры выветривания близок к составу базит-ультрабазитов офиолитовой

Содержания элементов-примесей в красноцветных золотоносных отложениях коры выветривания

Элементы	ХН-02-2	ХН-02-3	ХН-02-5	ХН-02-6	ХН-02-7	ХН-02-8	ХН-02-9	ХН-02-11	ХН-02-19
Sc, ppm	9,5	7,9	16,4	22,7	9,2	6,7	6,6	13,1	0,73
Cr, ppm	5117	361	780	541	4843	3251	5277	2970	2273
Fe, масс. %	2,33	2,37	4,5	5,7	10,7	7,0	8,6	6,6	5,8
Co, ppm	37,6	19,4	36,4	44,5	194	112	135	140	275
Ni, ppm	1158	687	989	1152	2293	1612	1839	1133	2697
As, ppm	10,1	8,7	18,4	18,2	126	36	49	26	191
Br, ppm		0,6	2,0				0,8	1,0	
Rb, ppm	16	9	45	76					
Sr, ppm	112	84	240	276					
Sb, ppm	0,22	0,23	0,35	0,40	1,2	1,5	1,9	0,23	3
Cs, ppm	0,24	0,26	1,14	1,96	0,09	0,77	0,11	0,07	
Ba, ppm	91	61	422	637				122	
Hf, ppm		0,6	2,0	2,9				0,32	
Ta, ppm	0,007	0,16	0,40	0,56		0,005		0,04	
W, ppm	1,1	1,0	2	6		42			
Th, ppm	0,10	1,55	3,4	5,1	0,27	0,12	0,18	0,51	
U, ppm		0,7	1,2	1,5	0,3	0,2			1,2

Примечание: пустая ячейка — содержание ниже предела обнаружения

ассоциации (таблица). Для гипергенных отложений характерны высокие концентрации Cr (до 5277 г/т), Ni (до 2697 г/т) и Co (до 275 г/т). Характерны крайне низкие содержания некогерентных элементов. Часть проб характеризуется относительно повышенными концентрациями Ba, Sr и РЗЭ, при этом содержания «ультрабазитовых» элементов Cr, Ni и Co несколько ниже, хотя все равно находятся на уровне сотен г/т. Такие породы интерпретируются как продукты выветривания основных пород. Несколько варьируют содержания Fe — от 2,33 до 10,7 масс. % за счет большего или меньшего количества гидроокислов Fe и пирита в породах.

Самородное золото Харанурского участка визуально имеет рудный облик, однако при большом увеличении видно, что золотины слабо окатаны. Краевые части зерен характеризуются повышенной пористостью, хотя различий в химическом составе не отмечается. По крупности выделений все имеющееся золото относится к классу мелкого (0,1–1 мм) (Петровская, 1973). На основе изучения гранулометрического состава выборки из 93 золотинок выделены 3 подкласса крупности с размерностью 1,0–0,5 мм (19 %); 0,5–0,2 мм (30 %) и <0,2 (51 %) мм.

По морфологии наиболее крупные золотины (с размером 0,5–1,0 мм) имеют амебообразную, паукообразную и комковидную формы (рис. 2). Золотины более мелкого подкласса (0,2–0,5 мм) слагают чаще всего удлиненные зерна неправильной, реже амебообразной формы, встречаются единичные зерна, представляющие собой сростки игольчатых выделений и изометричные, близкие к эллипсоидальным гипидоморфные зерна. Золотины самого мелкого подкласса (<0,2 мм) слагают пластинчатые зерна неправильной угловатой формы. Исходя из морфологии зерен, мож-

но сделать вывод, что формирование золотинок происходило при метасоматическом росте, при выполнении трещин и цементации микробрекчий и при сочетании перечисленных сред.

По химическому составу самородное золото имеет достаточно высокую пробность (853–961 ‰), что соответствует средне-высокопробному золоту. Примеси на уровне чувствительности метода (0,1 масс. %) не установлены. Одноmodalность распределения пробности золота свидетельствует о едином источнике золота в Харанурской коре выветривания. Каких-либо зависимостей состава от морфологии или крупности зерен самородного золота не отмечается.

Методика выполнения геофизических исследований

На территории Харанурского месторождения выполнен комплекс современных геофизических методов, наиболее часто применяемый для поисков и разведки золоторудных месторождений на территории

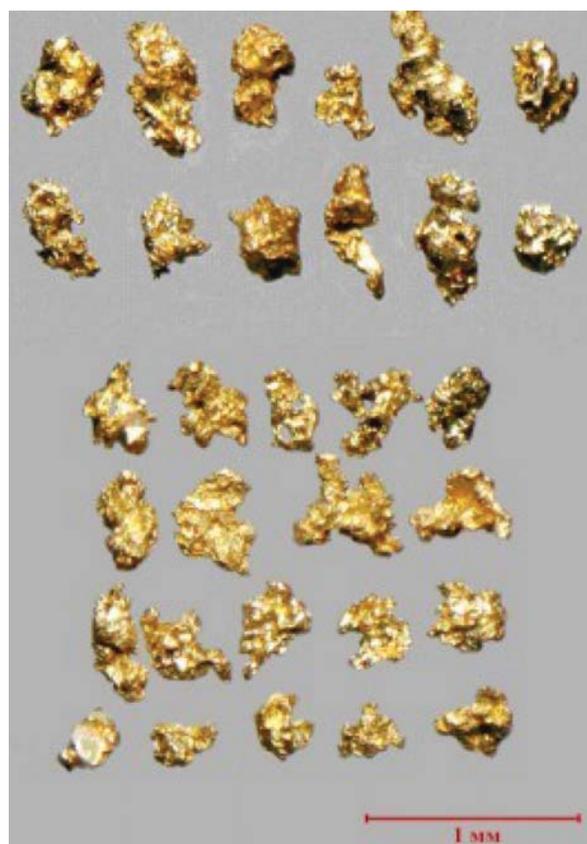


Рис. 2. Морфология крупных выделений самородного золота Харанурского месторождения

Восточной Сибири [11]. Работы велись в три этапа в 2013–2015 гг. Работы выполнялись по буровым профилям как в летнее, так и в зимнее время в варианте детальной съемки для регистрации параметров основных геологических объектов, выделенных по результатам буровых работ с высокой плотностью наблюдения (расстояние между скважинами 50–100 м). Плотность геофизических исследований составляла 2–20 м для различных модификаций наблюдений в зависимости от требуемого качества наблюдений.

Комплекс работ был направлен на определение оптимальной методики сбора, обработки и интерпретации данных для крупномасштабных геофизических поисков и включал в себя работы: многоразное дипольное профилирование в движении и стационарная модификация

с использованием многоканальных измерителей ЭИН-2000; частотное электромагнитное зондирование с применением аппаратуры Немфис; 2D-исследования методом электротомографии с установками pole-dipole и dipole-dipole, выполнявшихся станциями Омега-48 с шагом косы 5 и 10 м; георадарные исследования с прибором Лоза-М; 2D-зондирования и 3D-площадную съемку методом переходных процессов с использованием аппаратуры Импульс-Д по равномерной сети профилей с шагом 40, 60 и 100 м; магнитную градиентометрию с разновысотными датчиками в профильном и площадном вариантах.

Результаты геофизических работ

Результаты комплексных геолого-геофизических работ на эталонных разрезах золотоносных кор выветривания Харанурского месторождения показали, что ис-

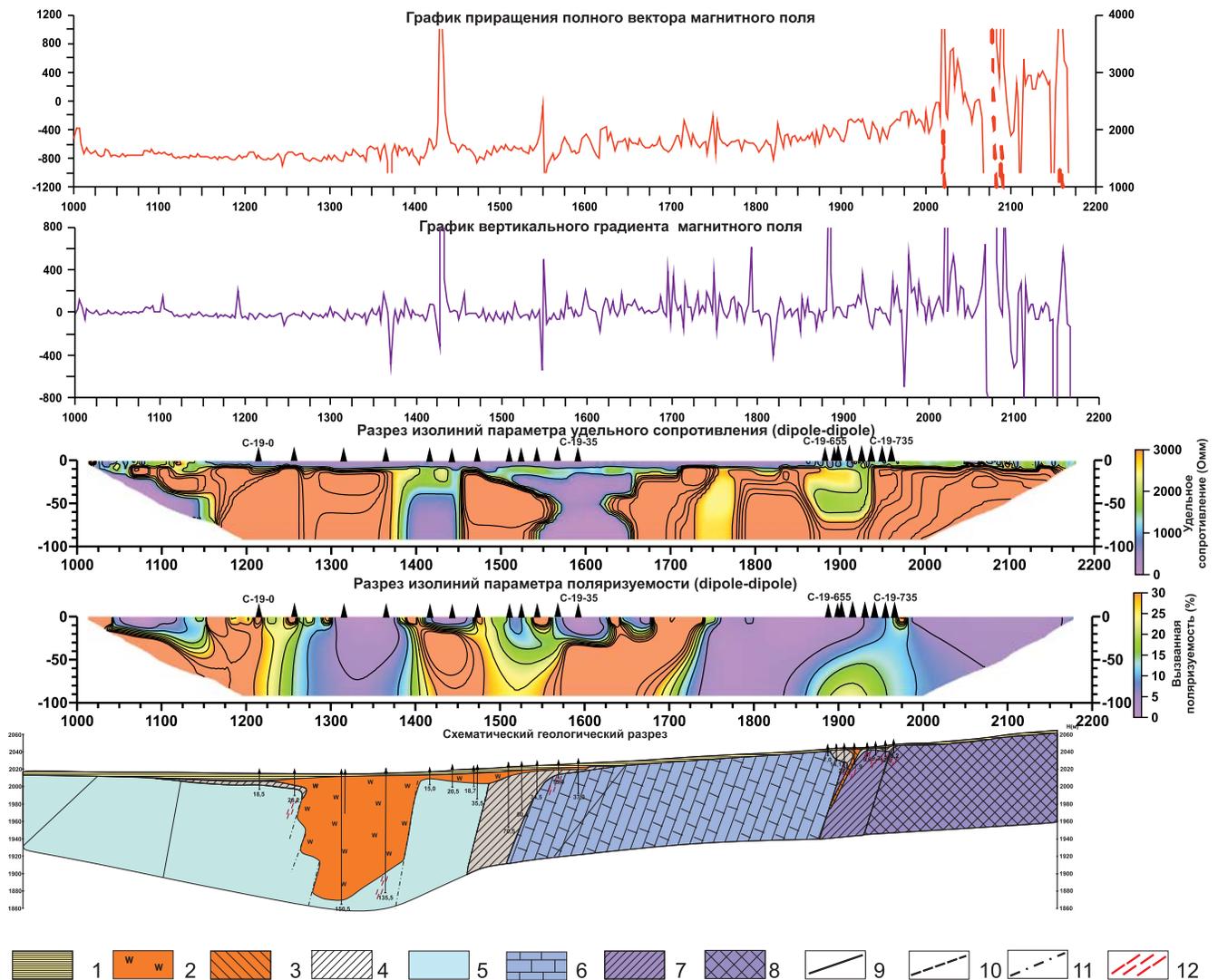


Рис. 3. Результаты детальных комплексных геофизических работ 2014 г. по буровой линии 19: 1 — супеси, суглинки, глины с щебнем и глыбами пород различного состава; 2 — карстовая кора выветривания. Маршаллиты фосфатсодержащие, суглинки пестроцветные с дресвой и щебнем доломитов; 3 — линейная кора выветривания. Суглинки пестроцветные с дресвой и щебнем туфопесчаников и листовитов; 4 — структурная кора выветривания по материнским породам; 5 — фосфатонесная пачка. Доломиты серые, светло-серые, фосфориты первично-осадочные брекчевидные; 6 — доломиты темно-серые, черные, углеродисто-кремнисто-слюдисто-карбонатные сланцы; 7 — тальк-карбонатные, тальк-кварц-карбонатные породы, листовиты; 8 — серпентиниты; 9 — палеотектонические нарушения; 10 — современные разрывные нарушения; 11 — зоны катаклаза; 12 — зоны жильно-прожилкового окварцевания с убогосульфидной минерализацией

пользование только площадных магниторазведочных или электроразведочных данных не позволяет выделять напрямую коры выветривания, ввиду слабого развития магнетитовой и вторичной пиритовой минерализации и присутствия даек основного и кислого составов, амплитуда сигнала от которых в разы превышает аномалии, связанные с карстовыми и линейными корами выветривания. Наиболее полную и более глубинную (до 60 м) интегрированную информацию о строении этих интрузий дают результаты электротомографии (рис. 3).

Карстовые коры выветривания, выделенные по результатам бурения, связаны с разрушением минерали-

зованных кварцево-прожилковых зон, фиксируемых при электроразведке в качестве высокоомных аномалий, сопровождающихся зонами повышенных значений поляризуемости. Дезинтегрированные толщи пород карстовых ловушек выделяются субгоризонтальными и мутьдообразными аномалиями пониженных удельных сопротивлений. Структуры разделены блоком высокоомных карбонатных пород, наиболее четко отражающихся на геоэлектрическом разрезе эффективного сопротивления (ЗМПП), причем наклон изолиний подчеркивает направление падения структуры (рис. 4). Мощности низкоомных аномалий по глубине сопоста-

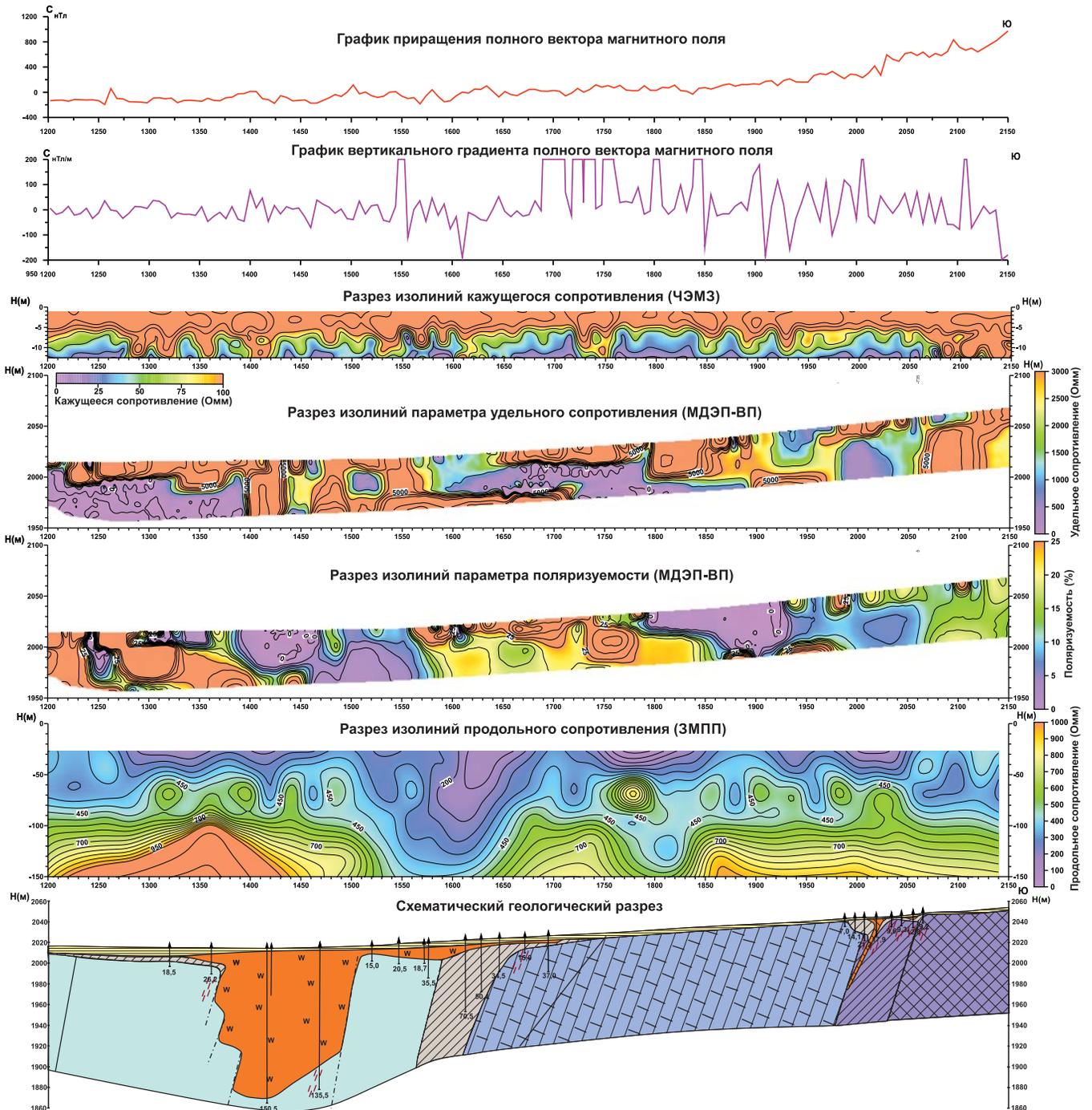


Рис. 4. Результаты комплексных геофизических работ 2013 г. по буровой линии 19

вимы с мощностями рыхлых отложений, вскрытых бурением. Вертикальная дифференциация связана с многолетнемерзлыми породами мощностью до 10 м и подтверждается разрезом удельных сопротивлений. В целом же отложения кор выветривания высокоомны, что объясняется повышенным содержанием в глинах маршаллитов — мелкодисперсного кварца. Погребенное коренное ложе карстовых полостей выделяется субгоризонтальными высокоградиентными переходами к высокоомным горизонтам, осложненными локальными зонами повышенной сульфидизации или графитизации в виде аномальных повышений вызванной поляризуемости (30–40 %).

На геоэлектрических разрезах эффективного сопротивления (ЗМПП) (рис. 4) уверенно фиксируются как горизонтальные, так и вертикальные контакты, и зоны с небольшими смещениями относительно горно-буровых работ, что в первую очередь связано с более плотной сетью наблюдения. Положение субгоризонтальных геоэлектрических контактов на границе дезинтегрированных пород коры выветривания с коренными картируется по значениям изолиний высокого сопротивления.

Линейная кора выветривания приурочена к приконтактной зоне гипербазитов и их глыбовых свалов, осложненной тектоническим (серпентинитовым) меланжем. Она выделяется комплексными аномалиями интенсивных (± 100 нТл/м) значений вертикального градиента магнитного поля с зонами высокоомных слабополяризуемых ультрабазитов (4000–5000 Ом·м), зоны развития окорудных изменений по тальк-карбонатным породам выделяются в виде линейных субвертикальных аномалий поля удельного сопротивления (2000–3000 Ом·м и 20–30 %). Непосредственно сама зона контакта и тектонический меланж выделяются локальными зонами проводимости (до 300 Ом·м по ЗМПП) и поляризуемости (ВП) амплитудой более 15 %, обусловленными приповерхностной сульфидизацией. По закартированной в пределах линейной коры выветривания геомагнитной ступени (300 нТл) подтверждается существование на южном фланге скрытого контакта немагнитных карбонатов с магнитными расщепленными серпентинитами, относящимися к флангу гипербазитового массива. Высокая дифференцированность геоэлектрических разрезов, полученных при непрерывной записи методами частотного зондирования и электротомографии, на большинстве разведочных линий может быть связана с разнообразной субвертикальной

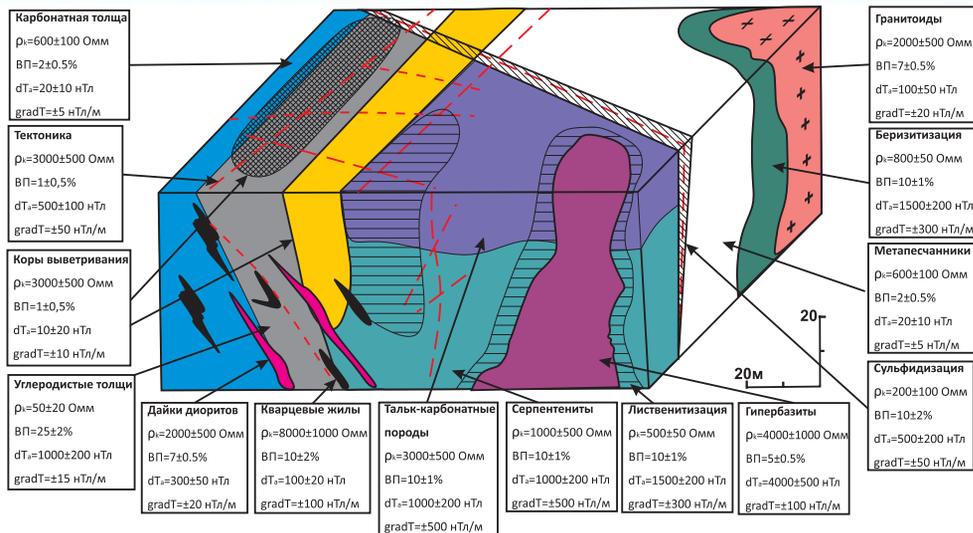


Рис. 5. Статистическая физико-геологическая модель золотоносных кор выветривания, связанных с минерализованными зонами дробления в терригенно-карбонатной толще во флангах гипербазитовых массивов

фациальной расслоенностью геологического разреза (карбонатные породы, метасланцы, ультрабазиты, катклазиты, зоны окварцевания).

Геолого-геофизическая модель Харанурского месторождения

По итогам опытно-методических работ был выявлен ряд закономерностей, отражающих особенности геологического строения Харанурского месторождения золота в корях выветривания в геофизических полях. Сформированная комплексная геолого-геофизическая модель основывается на доработке существующей модели месторождений золота, связанных с минерализованными зонами дробления (рис. 5). В зарубежной литературе такие месторождения относятся к орогенным, ведущую роль в локализации которых имеют сдвиговые зоны (shear zones) [15, 16]. К объектам такого типа относятся крупнейшие в регионе месторождения Холбинской группы (Зун-Холбинское, Барун-Холбинское, Пионерское и др.), приуроченные к Холбинской сдвиговой зоне, отчетливо проявленной в структурно-геологическом положении указанных объектов, а кроме того, дешифрируемой по космоснимкам [5]. На продолжении этой сдвиговой зоны находится и Харанурское месторождение.

Крупными структурными элементами рудных узлов для данного типа объектов являются присутствующие в толще массивы гранитоидов, гипербазитов, а также зоны сочленения региональных разломов различного направления со всбросово- и сдвигово-надвиговыми перемещениями. На поверхности данные объекты проявлены системами сближенных зон дробления, смятия и расщепления, трещинами и разрывами различного порядка, являющимися рудоносными [1]. В случае с Харанурским месторождением исходная модель осложнена карстовыми воронками и линейными зонами контакта, сопровождающимися поверхностными корями выветривания переменной мощности от 5 до 50 м. К осложняющим факторам относятся интен-

сивные приповерхностные аномалии, связанные с развитием сульфидизации или графитизации, влиянием многолетней мерзлоты, выполняющие роль экрана.

На Харанурском месторождении коры выветривания неоднородны и разделены на две основные части — обводненная кора выветривания и обводненные слабо выветрелые породы коренного ложа. Присутствуют зоны островной мерзлоты, преимущественно развивающиеся по участкам глинистых пород, что позволяет разделить высокоомные аномалии верхней части разреза, как связанные с замороженными глинизированными корами выветривания, так и с зонами окварцевания и околорудных изменений.

Линейные коры выветривания связаны с контактом гипербазитов и терригенно-карбонатных комплексов в зоне тектонического меланжа, сложенного преимущественно тектонитами по ультрабазитам (серпентинитами или кварц-гальк-карбонатными породами) с примесью вмещающих отложений, прорванных дайками среднего состава (микродиоритов).

Анализ золотоносности по результатам буровых работ выявил наибольшую перспективность линейных кор выветривания, совпадающих с зонами окварцеванных и сульфидизированных пород, подтверждаемую скважинами на большинстве буровых линий и выраженную в повышенном сопротивлении коры выветривания относительно вмещающей толщи, а также повышенными значениями вызванной поляризации. Это, в свою очередь, имеет сходство с золотоносными зонами милонитизации, вмещающими главные рудные тела Зун-Холбинского, Зун-Оспинского и других орогенных месторождений Восточного Саяна. Основными поисковыми признаками таких зон являются высокоомные линейные аномалии (2000–3000 Ом·м), с повышенными значениями вызванной поляризации в подстилающих породах фундамента.

Выводы

Результаты комплексных геолого-геофизических работ на эталонных разрезах золотоносных кор выветривания Харанурского месторождения показали их достаточность для решения поставленных геологических задач. Сравнительный анализ показал корреляцию структурного строения разрезов буровых колонок поисковых скважин и условных структурно-вещественных комплексов, полученных по результатам геофизического моделирования.

По результатам геофизических работ установлено сложное многоблоковое строение Харанурского месторождения, с интенсивным влиянием тектоники и эндогенных контактов, характерное для месторождений во флангах гипербазитового массива, выраженное в большом количестве горизонтальных неоднородностей физических полей. Вертикальные неоднородности на большинстве геофизических разрезов связаны с зонами протайки многолетнемерзлых пород, а также с послойным заполнением карстовых воронок глинистым материалом различного состава с разной степенью обводненности. Также при интерпретации была выявлена схожесть моделей, выявленных линейных

кор выветривания Харанурского месторождения, с комплексными моделями зон милонитизации, характерными для Восточного Саяна [10].

Анализ площадных исследований методами электропрофилирования показал эффективность этих методов для выделения комплексными аномалиями ВП и сопротивления аномальных объектов, связанных с телами гипербазитов, углеродсодержащих толщ, зон контакта. При проведении площадных работ была установлена низкая эффективность профилирования методом срединного градиента за счет утекания тока из длинных линий (100 Ом·м на 2 км), в результате чего не обеспечивалась регистрация данных из-за минимальной амплитуды сигнала.

В профильном варианте наиболее эффективен комплекс методов, включающий магниторазведку в модификации вертикального градиента, дипольное много-разносное электропрофилирование в модификации ВП, электротомографию с установкой dipole-dipole на детальных участках, а на интервалах недоизученных по глубине структур ККВ — зондирование МПП. Применение только одного из методов вне комплекса не дает желаемого результата.

В целом поисковый комплекс геофизических методов, включающий в себя наземную магниторазведку, электропрофилирование на постоянном токе, расширенный методами 2D электротомографии и зондирований МПП, в сочетании с петрофизическим отбором позволяет в условиях горного рельефа и развития многолетнемерзлых пород не только решать задачи геофизического картирования вмещающих толщ и разно-ранговых тектонических нарушений, но и детализировать внутреннее строение комплексных аномалий (пониженного сопротивления, повышенной поляризуемости и др.), связанных с развитием кор выветривания по минерализованным зонам дробления.

Авторы выражают благодарность д.г.-м.н. Ю.А. Калинин за предоставленные материалы и консультации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Временные методические указания по комплексированию геофизических методов при поисках золото-кварцевых месторождений в терригенных толщах Северо-Востока СССР / Под ред. В.Ю. Зайченко. — Л.: НПО «Рудгеофизик», 1986. — 97 с.*
2. *Геология и метаморфизм Восточного Саяна / В.Г. Беличенко, Ю.П. Бутов, Н.Л. Добрецов и др. — Новосибирск: Наука. Сиб. Отд., 1988. — 192 с.*
3. *Геология и рудоносность Восточного Саяна / Н.Л. Добрецов, В.Г. Беличенко, Р.Г. Боос и др. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1989. — 127 с.*
4. *Гордиенко, И.В. Окинский рудный район Восточного Саяна: геологическое строение, структурно-металлогенетическое районирование, генетические типы рудных месторождений, геодинамические условия их образования и перспективы освоения / И.В. Гордиенко, П.А. Рошкетаев, Д.В. Гороховский // Геология рудных месторождений. — 2016. — Т. 58. — № 5. — С. 405–429.*
5. *Жмодик, С.М. Геодинамика Саяно-Байкало-Муйского аккреционно-коллизийного пояса в неопротерозое-раннем палеозое, закономерности формирования и локализации благороднометаллического оруденения / С.М. Жмодик, А.А. Постников, М.М. Буслов, А.Г. Мионов // Геология и геофизика. — 2006. — Т. 47. — № 1. — С. 183–197.*
6. *Калинин, Ю.А. Прогнозно-поисковые критерии золотоносных кор выветривания (районы юга Сибири), Россия / Ю.А. Калинин, Н.А. Росляков // Геология рудных месторождений. — 2012. — Т. 54. — № 2. — С. 157–167.*

7. Калинин, Ю.А. Золотоносные коры выветриванию юга Сибири / Ю.А. Калинин, Н.А. Росляков, С.Г. Прудников. — Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2006. — 339 с.
8. Миронов, А.А. Геологическое строение и поисковая модель Харанурского месторождения золота в корях выветривания / А.А. Миронов // Руды и металлы. — 2014. — № 3. — С. 27–33.
9. Немчинов, В.Г. Особенности осадконакопления в позднем кайнозое и условия формирования россыпей золота в Окинском горном районе Восточного Саяна / В.Г. Немчинов: Автореф. дис.... канд. геол.-минер. наук. — Улан-Удэ, 1997. — 17 с.
10. Рощектаев, П.А. Золото Бурятии. Кн. 1. Структурно-металлогеническое районирование, геологическое строение месторождений, ресурсная оценка / П.А. Рощектаев, А.Г. Миронов, Г.И. Дорошкевич и др. — Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2000.
11. Чебаков, Г.И. Комплекс геофизических методов при поисках коренных месторождений золота в Восточном Саяне / Г.И. Чебаков, П.А. Рощектаев // Геофизические методы поисков и разведки. Технология и техника геологоразведочных работ, горное дело: Матер. Междунар. науч.-техн. конф. Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и пр.-ва. — Томск, 2001. — С. 171–175.
12. Chen, D. Metallogenic features and metallogenic model of laterite gold deposits in Southern China / D. Chen, M. Yang // Acta Geologica Sinica. — 2000. — Vol. 74. — №3. — P. 565 — 569.
13. Colin, F. Behavior of gold in the lateritic equatorial environment: weathering and surface dispersion of residual gold particles, at Dondo Mubi, Gabon / F. Colin, P. Vieillard // Applied Geochemistry. — 1991. — Vol. 6. — P. 279–290.
14. Glasson, M.J. Gold exploration in the Callion Area, Eastern Goldfields, Western Australia / M.J. Glasson, R.W. Lehne, F.W. Wellmer // Journal of Geochemical Exploration. — 1988. — Vol. 31 — P. 1–19.
15. Goldfarb, R.J. Distribution, character and genesis of Gold Deposits in Metamorphic terranes / R.J. Goldfarb, T. Baker, B. Dube, D.I. Groves, C.J. Hart, P. Gosselin // Economic Geology. — 2005. — 100th Anniversary Volume (1905–2005). — P. 407–450.
16. Groves, D.I. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types / D.I. Groves, R.J. Goldfarb, M. Gebre-Mariam, S.G. Hagemann, F. Robert // Ore Geology Reviews. — 1998. — Vol. 13. — P. 7–27.
17. Larizzatti, J.H. Morphology and composition of gold in a lateritic profile, Fazenda Pison «Garimpo», Amazon, Brasil / J.H. Larizzatti, S.M.B. Oliveira, C.R.M. Butt // Journal of South American Earth Sciences. — 2008. — Vol. 25. — P. 359–376.

© Татьков И.Г., Дамдинов Б.Б., 2018

Татьков Иван Геннадьевич // tatkovgeo@gmail.com
Дамдинов Булат Батуевич // damdinov@mail.ru

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 556.3.06

Логинов А.А. (ООО «НТПЦ СЕНОМАН»)

ХАРАКТЕРНЫЕ НЕДОСТАТКИ, ДОПУСКАЕМЫЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИССЛЕДОВАНИЙ С ЦЕЛЬЮ ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ПОДЗЕМНОГО ЗАХОРОНЕНИЯ ПРОМСТОКОВ НА ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЭТОГО УЧАСТКАХ НЕДР

*Рассмотрены недостатки изучения участков недр, предназначенных для захоронения промстоков, в том числе вопросы методики опытно-фильтрационных работ и обработки их результатов. **Ключевые слова:** полигон захоронения, промстоки, опытно-фильтрационные работы, поглощающий пласт-коллектор, фильтрационные параметры, депрессия, репрессия.*

Loginov A.A. (NTPC CENOMANIAN)

TYPICAL DRAWBACKS ALLOWED WHEN PERFORMING STUDIES TO THE GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL SUBSTANTIATION OF UNDERGROUND DISPOSAL OF WASTES AT DESIGNATED SUBSOIL

*The shortcomings of the study of subsoil plots for burial of wastes, including questions of methodology of experimental-filtration works and results processing. **Keywords:** landfill, industrial waste, development of filtration, absorbent reservoir bed, filter settings, depression, repress.*

О многих недостатках исследований, выполняемых на участках недр, предназначенных для захоронения промстоков, и способах преодоления этих недостатков

сообщалось в наших статьях, опубликованных в журнале «Недропользование XXI век» [6–8]. Тем не менее, значительная часть этих недостатков, судя по отчетам, представляемым на экспертизу в ГКЗ, не искоренена до сих пор. Это, а также накопление новых данных по проблематике подземного захоронения промстоков послужило основанием для автора вновь обратиться к этому вопросу и изложить его с переосмыслением и переработкой некоторых из опубликованных ранее материалов в новой редакции в одном из наиболее уважаемых специализированных научных изданий.

Непременным условием обоснования захоронения промстоков в глубокие подземные горизонты является количественный прогноз ожидаемых изменений гидродинамической обстановки при эксплуатации полигонов подземного захоронения (ППЗ). Исходными данными для прогноза служат гидрогеологические параметры поглощающих скважин и целевых поглощающих пластов-коллекторов.

Для установления последних используются, как известно, косвенные и прямые методы исследований. Косвенные методы (наиболее распространенные из них — методы ГИС) обеспечивают возможность получения ориентировочных параметров, поэтому эти методы целесообразно применять на предварительной (поисковой) стадии изучения участков недр, в пределах которых предполагается захоронение промстоков. К прямым методам относятся опытно-фильтрационные работы (ОФР). Проведение их желательно на всех стадиях исследований по обоснованию подземного захоронения, но абсолютно обязательны они на разведочной стадии, поскольку при правильной методике и технологии выполнения обеспечива-