

Оригинальная статья / Original article

УДК 556.3

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-4-22-36>

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ БАКЧАРСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОДОПРИТОКОВ

© К.И. Кузеванов^а, К.К. Кузеванов^б, Е.М. Дутова^с, В.Д. Покровский^д

^{а-д}Томский политехнический университет,
634050, Российская Федерация, г. Томск, просп. Ленина, 30.

РЕЗЮМЕ: Бакчарское железорудное месторождение на территории Томской области относится к одному из крупнейших в мире железорудных районов – Западно-Сибирскому. Протяженность рудоносной полосы в направлении с юга на север достигает 2000 км при ширине до 150 км. К настоящему времени наиболее детально изучена часть этой провинции, находящаяся в районе д. Польшанки Бакчарского района. Поисковые работы выполнены в составе государственной геологической съемки. Выявлено относительно глубокое залегание рудных тел, а также высокая степень обводненности всего геологического разреза. Однако интерес к освоению железорудного сырья сохраняется, поскольку его огромные запасы являются мощным ресурсом развития региона на перспективу. Гидрогеологические условия месторождения во многом определяют наиболее рациональные способы его разработки и рентабельность добычи полезного ископаемого. Цель данной статьи – оценка прогнозных водопритоков и их изменения во времени при открытом способе отработки железорудного месторождения, которая необходима для предварительного определения масштабов работ по водопонижению и схемы их организации, включая выбор приемников дренажных вод. В ходе работы проанализированы особенности геологического строения до глубины залегания рудных тел. Выполнена схематизация гидрогеологического разреза для целей прогнозного аналитического гидродинамического расчета водопритоков. Получена предварительная оценка водопритоков на перспективу при открытом способе разработки месторождения с учетом изменения интенсивности дренажа подземных вод во времени. Результаты прогнозных расчетов показывают весьма значительную степень обводненности железорудного месторождения. Необходимо дальнейшее изучение гидрогеологических условий, поиск и обоснование альтернативных методов разработки месторождения, включая скважинную гидродобычу.

Ключевые слова: Бакчарское железорудное месторождение, открытый способ отработки, подземные воды, водоносный горизонт, фильтрационные параметры, фильтрационный поток, расход, водоприток, геофильтрационные расчеты

Информация о статье: Дата поступления 2 ноября 2018 г.; дата принятия к печати 6 декабря 2018 г.; дата онлайн-размещения 28 декабря 2018 г.

Для цитирования: Кузеванов К.И., Кузеванов К.К., Дутова Е.М., Покровский В.Д. Гидрогеологические условия Бакчарского железорудного месторождения и предварительная оценка водопритоков. *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых.* 2018;41(4):22–36. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-4-22-36.

^аКузеванов Константин Иванович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент отделения геологии, e-mail: kki@tpu.ru

Konstantin I. Kuzevanov, Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Associate Professor of the Geology Department, e-mail: kki@tpu.ru

^бКузеванов Константин Константинович, ассистент отделения геологии, e-mail: kuzevanovkk@mail.ru
Konstantin K. Kuzevanov, Assistant Professor of the Geology Department, e-mail: kuzevanovkk@mail.ru

^сДутова Екатерина Матвеевна, доктор геолого-минералогических наук, профессор отделения геологии, e-mail: dutova@tpu.ru

Ekaterina M. Dutova, Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), Professor of the Geology Department, e-mail: dutova@tpu.ru

^дПокровский Виталий Дмитриевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент отделения геологии, e-mail: pokrovskiy.v@gmail.com

Vitaly D. Pokrovskiy, Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Associate Professor of the Geology Department, e-mail: pokrovskiy.v@gmail.com

HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF THE BAKCHAR IRON ORE DEPOSIT AND PRELIMINARY ESTIMATION OF WATER INFLOWS

© Konstantin I. Kuzevanov^a, Konstantin K. Kuzevanov^b,
Ekaterina M. Dutova^c, Vitaly D. Pokrovskiy^d

^{a-d}Tomsk Polytechnic University,
30 Lenin pr., Tomsk 634050, Russian Federation

ABSTRACT: The Bakchar iron ore deposit located in the Tomsk region is a part of the West-Siberian iron ore field, which is considered one of the largest in the world. The length of the ore-bearing strip from the south to the north is about 2,000 km, the strip width is about 150 km. At present, the most detailed research was given to the part of the Bakchar province adjoining Polynyanka village. The explorations were performed as a part of the state geological survey. A relatively deep underlying of ore bodies and a high watering degree of the entire geological section were found out. However, this did not decrease the interest in the development of iron ore since its huge reserves form the powerful resource for the development of the region in the future. Hydrogeological conditions of the deposit in many senses determine the most rational methods of its development and ore mining profitability. The purpose of the article is to estimate the forecasted water inflows and their changes over time under open-cast mining of the iron ore deposit. It is required for the preliminary determination of the scope of works for water lowering and designing of their organization scheme including the selection of drainage water receivers. The paper also analyzes the features of the geological structure down to the depth of ore body bedding. The hydrogeological profile of the section has been schematized for the purpose of predictive analytical hydrodynamic calculation of water inflows. The preliminary estimation of water inflows for the future has been obtained under open-cast mining of the deposit with regard to the change of the groundwater drainage intensity over time. The results of predictive calculations show the significant degree of iron ore deposit watering. The authors emphasize the need for further study of hydrogeological conditions, search and justification of alternative methods of ore field development including hydraulic bore-hole mining.

Keywords: Bakchar iron ore deposit, open-cast mining method, groundwater, aquifer, filtration parameters, filtering flow, flow, water inflow, geofiltration calculations

Information about the article: Received November 2, 2018; accepted for publication December 6, 2018; available online December 28, 2018.

For citation: Kuzevanov K.I., Kuzevanov K.K., Dutova E.M., Pokrovskiy V.D. Hydrogeological conditions of the Bakchar iron ore deposit and preliminary estimation of water inflows. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* = *Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits*. 2018;41(4):22–36 (In Russ.). DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-4-22-36.

Введение

На территории Томской области открыто Бакcharское железорудное месторождение, которое относится к одному из крупнейших в мире железорудных бассейнов – Западно-Сибирскому [1, 2]. Он представляет собой сохранившуюся от размыва восточную часть огромной прерывистой полосы железооруденения, подковой окаймляющей Западно-Сибирскую низменность (рис. 1). На западном обрамлении этой структуры аналогичные морские руды известны в Аятском,

Марсятском и других месторождениях. Пространственное близки к ним лагунно-озерные руды Прииртышского бассейна и речные руды Лисаковского месторождения Приаральской группы. Морские рудоносные породы и руды Западно-Сибирского бассейна протягиваются с юга на север почти от предгорий Алтая на юге до полуострова Олений в низовьях р. Енисей. Протяженность рудоносной полосы близка к 2000 км при ширине около 150 км. К настоящему времени наиболее детально изучена часть этой

провинции, находящаяся в районе д. Польшанки Бакcharского района. Железные отложения Бакcharского рудного узла приурочены к верхнемеловым и палеогеновым отложениям, перекрывающимся мощной толщей (160–200 м) осадков неоген-четвертичного возраста. Железные руды характеризуются в основном оолитами гетит-гидрогетитового, хлорит-гидрогетитового состава и относятся к трем горизонтам (снизу вверх): нарымскому, колпашевскому, бакcharскому [3–6]. Состав оолитов руд близок к составу современных новообразующихся оолитов на фильтрах обезжелезивания водозаборов, эксплуатирующих воды палеогеновых отложений [7, 8]. Поисковые работы на территории рудного узла вы-

полнены в составе государственной геологической съемки. Выявлены относительно глубокое залегание рудных тел и высокая степень обводненности всего геологического разреза. Однако интерес к освоению железорудного сырья сохраняется, поскольку его огромные запасы являются мощным ресурсом развития экономики Томской области на перспективу. В этой связи исследование гидрогеологических условий месторождения является одной из приоритетных задач геолого-разведочных работ, поскольку наличие в разрезе подземных вод во многом определяет выбор наиболее рациональных способов разработки рудного сырья и в целом рентабельность добычи полезного ископаемого.

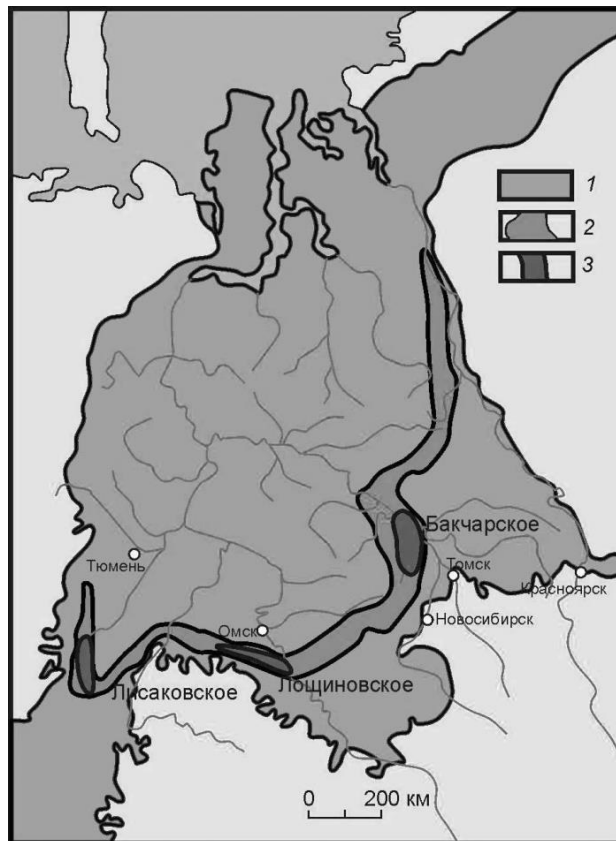


Рис. 1. Схема Западно-Сибирского железорудного бассейна [2–4]:
1 – площадь распространения мел-палеогенового моря; 2 – полоса распространения прибрежно-морских железорудных отложений; 3 – площади наиболее крупных железорудных узлов (месторождений)

Fig. 1. Diagram of the West Siberian iron ore basin [2–4]:
1 – distribution area of the Cretaceous-Paleogene sea; 2 – distribution area of the coastal-marine iron ore deposits; 3 – areas of the largest iron ore clusters (deposits)

Площадь исследований расположена в Бакчарском районе Томской области в 219 км юго-западнее г. Томска вблизи районного центра Бакчар. Географически район находится на восточном склоне Обь-Иртышского междуречья центральной части Западно-Сибирской низменности. В геоморфологическом отношении район работ расположен на Обь-Иртышском водоразделе, в долинном комплексе р. Парбиг и Бакчар, которые являются левыми притоками р. Чая.

Площадь месторождения представляет собой заболоченную и слабо всхолмленную равнину с абсолютными отметками от 121 м на водораздельных участках до 89 м в речных долинах (р. Галка и Тетеринка, являющихся левыми притоками р. Бакчар). Территория покрыта лесами таежного типа. Широко развиты обширные болотные массивы.

Климат района континентальный с продолжительной холодной зимой и коротким теплым летом. Среднегодовая температура колеблется от -0,7 до 1,6 °С. Среднегодовое количество осадков изменяется от 560 до 600 мм. Снежный покров достигает 130 см и держится до начала мая. Максимальная глубина сезонного промерзания наступает в конце марта и достигает 280 см.

По природно-климатическим условиям район Бакчарского железорудного месторождения относится к Западно-Сибирской провинции южнотаежной подзоны и характеризуется избыточным увлажнением, плоским слаборасчлененным рельефом, слабо развитой гидросетью с малыми уклонами русел, широким развитием процессов заболачивания.

Цель исследования

Имеющиеся материалы гидрогеологических исследований положены в основу предварительной оценки прогнозных водопритоков при открытом способе отработки железорудного месторождения. Количественная оценка масштабов водопритоков и их ожидаемое изменение

во времени при расширении фронта добычных работ необходимы для предварительного определения масштабов работ по водопонижению и схемы их организации, включая выбор возможных приемников дренажных вод. Оценка водопритоков требует особого внимания и является обязательным регламентом при эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых [9–15].

Материалы и методы исследования

В основу анализа гидрогеологических условий Бакчарского железорудного месторождения положены материалы региональной оценки ресурсов пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна [16], а также результаты гидрогеологических исследований для организации централизованного водоснабжения населенных пунктов южных районов Томской области [17].

В региональном плане гидрогеологический разрез характеризуется двухэтажным строением, объединяющим две гидродинамические зоны: интенсивного и затрудненного водообмена. Затрудненный водообмен характерен для нижней части гидрогеологического разреза, граница которой подтверждается гидрогеохимическими показателями и прежде всего повышенной величиной общей минерализации подземных вод, превышающей предел первых граммов на литр.

Максимальная мощность зоны интенсивного водообмена достигает 800 м. При залегании рудной толщи на глубинах, близких к 200 м, участок месторождения, планируемый к первоочередной отработке, попадает в пределы зоны активного водообмена. Этим обстоятельством во многом определяются особенности формирования водопритоков при открытом способе отработки продуктивной толщи.

Гидрогеологический разрез характеризуется наличием нескольких выдер-

жанных в плане и в разрезе мощных водоносных горизонтов, часть из которых используется для организации централизованного водоснабжения населенных пунктов. Подземные воды этих горизонтов являются частью единой гидродинамической системы Западно-Сибирского артезианского бассейна, что предопределяет высокие величины ожидаемых водопритоков при открытом способе разработки. Водоносные горизонты, содержащие напорные воды, разделены водоупорами, выдержанными в разрезе и по площади. Величины напоров формируются в отдаленных областях питания и часто устанавливаются на уровне, близком к поверхности современного рельефа, что иногда приводит к образованию участков самоизлива в долинах рек.

В работе Н.А. Ермашовой [17] приведена обобщенная характеристика гидрогеологического разреза в районе д. Польшнянки Бакчарского района. Исходными материалами послужили результаты поисковых работ, выполненных в составе государственной геологической съемки (А.А. Бабин), и уточненная характеристика, полученная при гидрогеологической съемке, выполненной Обской партией Томской геолого-разведочной экспедиции (А.В. Кривенцов, Т.Г. Кривенцова). В работе использованы эти материалы и описание водоносных горизонтов для схематизации гидрогеологических условий и выполнения прогнозных геофильтрационных расчетов.

Согласно материалам полевых исследований, в пределах надрудной части гидрогеологического разреза выделяется четыре напорных водоносных горизонта, разделенных выдержанными в плане и в разрезе водоупорными породами (рис. 2).

Первый от поверхности постоянно действующий водоносный горизонт (ВГ I) приурочен к песчаным отложениям четвертичного и верхнеолигоценного возраста тобольской ($Q_{II\text{тб}}$) и лагернотомской

($P_{3\text{т}}$) свит. Их общая мощность достигает 50 м.

Второй водоносный горизонт (ВГ II) представлен песчано-алевритовыми отложениями среднего олигоцена новомихайловской свиты ($P_{3\text{нм}}$), мощность которых достигает 40–50 м. Пески обладают высокой степенью глинистости, содержат напорные воды и могут проявлять способность к плавунности.

Третий водоносный горизонт (ВГ III) сложен песками верхнеэоцен-нижнеолигоценного возраста юрковской свиты ($P_{2-3\text{юр}}$). Мощность водовмещающих пород превышает 50 м. Они характеризуются максимальной степенью обводненности и обладают высоким напором над кровлей, обеспечивая самоизлив в долинах рек.

Воды третьего водоносного горизонта активно используются большинством водозаборов хозяйственно-питьевого назначения, в том числе с. Бакчар и других населенных пунктов. Количество воды и основные параметры эксплуатационного водоносного горизонта оценены для водозаборов с. Бакчар, Поротниково и утверждены в территориальной комиссии по запасам полезных ископаемых.

Менее изученным является водоносный комплекс отложений верхнего мела. Он представлен двумя горизонтами: в кровле и подошве продуктивной толщи.

Четвертый водоносный горизонт (ВГ IV), приуроченный к отложениям ганькинской свиты ($K_{2\text{гн}}$), образован обводненными песками мощностью до 25–30 м и обладает большим гидростатическим напором. Он подстилается непосредственно железорудной толщей, обладающей пониженными фильтрационными параметрами. Воды ганькинской свиты пресные.

В основании гидрогеологического разреза, под рудной толщей залегает пятый водоносный горизонт (ВГ V),

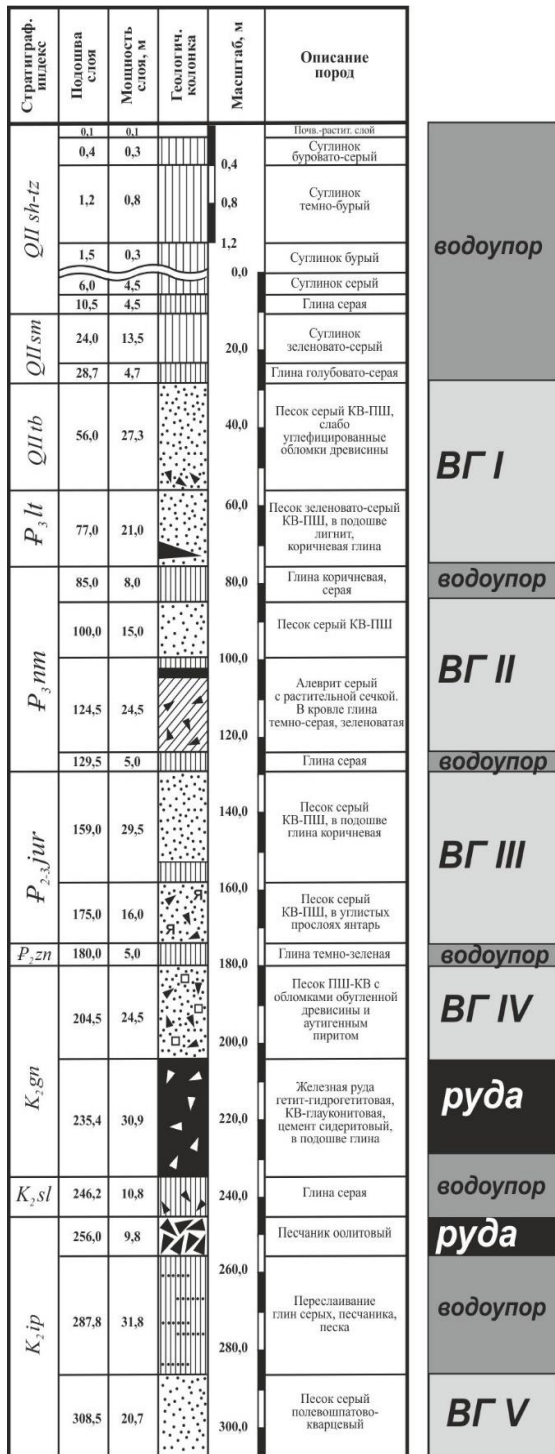


Рис. 2. Усредненный геологический разрез района Бакcharского железорудного месторождения (по Н.А. Ермашовой) с условной нумерацией водоносных горизонтов (ВГ I – ВГ V)
Fig. 2. Averaged geological section of the Bakchar iron ore deposit (according to N.A. Ermashova) with conditional numbering of aquifers (ВГ I – ВГ V)

приуроченный к отложениям песков нижней части ипатовской свиты ($K_2 ip$). Мощность водонасыщенных пород составляет 20 м. Подземные воды этой части разреза обладают высоким напором и повышенной минерализацией, позволяющей отнести их к минеральным лечебно-столовым.

Описанное строение гидрогеологического разреза позволяет предположить, что при отработке рудной залежи открытым способом в формировании водопритоков будут принимать участие все перечисленные водоносные горизонты. Четыре водонасыщенные толщи верхней части гидрогеологического разреза должны быть сдrenированы полностью при производстве вскрышных работ и дальнейшей эксплуатации карьера, что обеспечит основной водоприток на забой карьера за счет бокового притока. Водонасыщенные породы подрудной толщи могут повышать суммарный водоприток за счет формирования процессов перетекания через гидравлические окна в водоупорных породах верхней части ипатовской свиты (см. рис. 2).

Ожидаемые водопритоки в существенной степени будут зависеть от геометрических размеров проектируемой горной выработки.

В соответствии с описанными особенностями гидрогеологических условий схема формирования водопритоков представляет собой сложную гидродинамическую систему, основные элементы которой показаны на рис. 3.

Для расчета величины ожидаемых водопритоков при открытом способе отработки выполнена схематизация гидрогеологических условий. Выделено четыре неограниченных в плане напорных водоносных горизонта в границах надрудной части гидрогеологического разреза и один напорный горизонт в подрудной толще. Для выполнения геофильтрационных расчетов введена

условная нумерация водоносных горизонтов: I, II, III, IV и V (см. рис. 3). Величины расчетных мощностей водоносных горизонтов определены по сводной гидрогеологической колонке. Фильтрацион-

ные параметры скорректированы в соответствии с величинами коэффициентов водопроводимости, полученными при опробовании эксплуатационных гидрогеологических скважин (табл. 1).

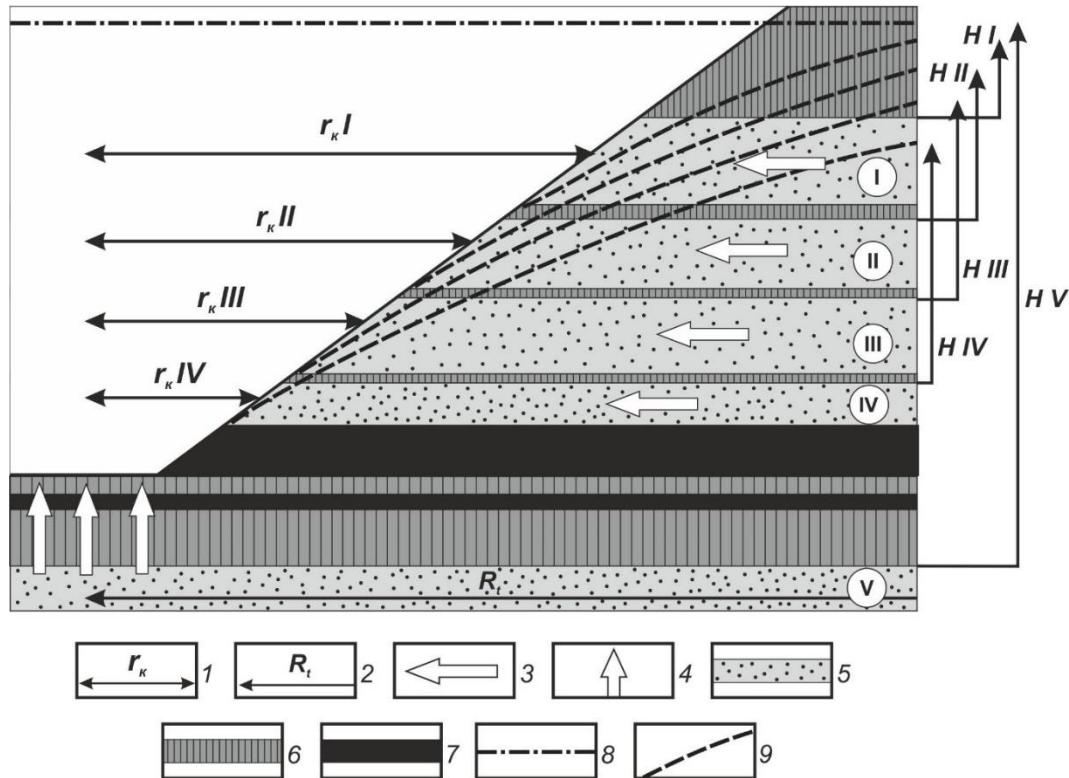


Рис. 3. Схема формирования ожидаемых водопритоков:

1 – приведенный радиус «большого колодца»; 2 – условный радиус влияния; 3 – направление бокового притока; 4 – направление вертикального фильтрационного потока за счет перетекания снизу; 5 – водоносные горизонты; 6 – водоупорные породы; 7 – рудные толщи; 8 – статический уровень подземных вод; 9 – динамический уровень подземных вод
 H – пьезометрическая высота; I-V условный номер водоносного горизонта

Fig. 3. Diagram of expected water inflow formation:

1 – equivalent radius of the "big well"; 2 – conditional radius of influence; 3 – direction of the lateral inflow; 4 – direction of the vertical filtering flow due to overflow from the bottom; 5 – aquifers; 6 – waterproof rocks; 7 – ore strata; 8 – static level of groundwaters; 9 – dynamic level of groundwaters
 H – piezometric height; I-V conditional number of an aquifer

Таблица 1
Расчетные фильтрационные параметры водоносных горизонтов

Table 1

Estimated filtration parameters of aquifers

Водоносный горизонт	Мощность, м	Коэффициент фильтрации, м/сут.	Коэффициент водопроводимости, м ² /сут.	Коэффициент пьезопроводности, м ² /сут.
I	50	3	150	10 ⁶
II	50	5	250	10 ⁶
III	50	10	500	10 ⁶
IV	25	3	75	10 ⁶
V	20	3	60	10 ⁶

Прогнозную оценку водопритоков при открытом способе обработки месторождения целесообразно рассматривать на основе отдельной количественной оценки вклада каждого водоносного горизонта в суммарный проектный водоотлив. Определение расходов водоносных горизонтов выполнено с использованием аналитических методов. На этапе схематизации гидрогеологических условий принято формирование нестационарного фильтрационного потока под воздействием искусственного водоотлива для условий напорных неограниченных в плане водоносных горизонтов.

В целях внесения определенности в начальные условия решения геофильтрационной задачи принято, что обработка рудного тела проводится только в пределах верхней продуктивной толщи. Для определения размеров открытой горной выработки на уровне каждого водоносного горизонта угол откосов принят постоянным и равным 30° без обоснования устойчивости.

Расчетной схемой предусматривается вскрытие продуктивной толщи до глубины 235 м от поверхности с организацией водоотлива на забое карьера. Все четыре водоносных горизонта надрудной толщи разгружаются на откосы карьера. При дренировании водонасыщенных пород естественные напоры снижаются до высоты высачивания (см. рис. 3). Расчеты показывают, что она не превышает 2 м. Для каждого водоносного горизонта эта величина контролируется отметкой его подошвы за исключением целика под дном карьера. Формирующийся при этом расход зависит от размеров периметра вскрытой части водоносного горизонта, величины гидравлического уклона (который уменьшается во время эксплуатации карьера при стабильных его размерах) и фильтрационных параметров водовмещающих пород.

При наличии высоконапорных подземных вод в подрудной толще можно

ожидать поступления дополнительных водопритоков за счет вертикального перетекания снизу. Эта часть суммарного водопритока зависит от величины напора, площади забоя, мощности и фильтрационных параметров разделяющего слоя.

Оценка водопритоков выполнена на основе комплексирования аналитических расчетов. Боковой водоприток оценивался при нестационарном гидродинамическом режиме по методу «большого колодца» для четырех изолированных напорных водоносных горизонтов. Водоприток снизу оценивался по схеме вертикальной фильтрации (рис. 4), учитывающей слоистое строение полупроницаемого отдельного слоя.

Восходящий фильтрационный поток формируется под влиянием величины действующего напора (ΔH), образующегося за счет разности напоров на нижней и верхней границах отдельной слоистой толщи, параметры которой характеризуются частными значениями коэффициентов фильтрации (k_{1-3}) и мощностей разделяющих слоев (h_{1-3}).

Оценка вертикального водопритока потока выполнена на основе фундаментальных зависимостей для фильтрационного потока:

$$Q = F \cdot V,$$

где Q – расход фильтрационного потока, $\text{м}^3/\text{сут.}$; F – площадь поперечного сечения потока (соответствует площади забоя карьера), м ; V – скорость фильтрационного потока, $\text{м}/\text{сут.}$

В свою очередь скорость вертикальной фильтрации оценивается с учетом неоднородности разделяющих горизонтов:

$$V = k_{cp} \cdot \frac{H_{max} - H_{min}}{L},$$

где k_{cp} – среднее значение коэффициента фильтрации при движении фильтрационного потока перпендикулярно плоскостям напластования, $\text{м}/\text{сут.}$; H_{max} , H_{min} – значения напора на границах

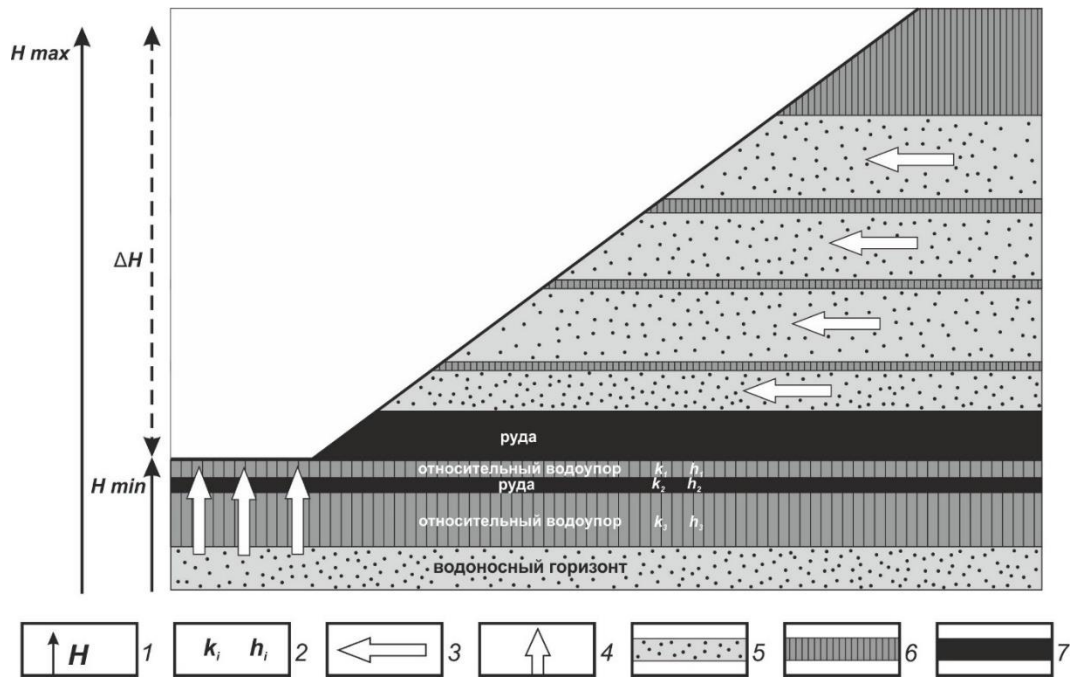


Рис. 4. Расчетная схема вертикальной фильтрации:

1 – напор (максимальный, минимальный, действующий); 2 – параметры и номер относительного водоупора (k_i – коэффициент фильтрации, м/сут.; h_i – мощность, м); 3 – направление бокового притока; 4 – направление вертикального фильтрационного потока за счет перетекания снизу; 5 – водоносные горизонты; 6 – водоупорные породы; 7 – рудные толщи

Fig. 4. Calculation model of vertical filtering:

1 – head (maximum, minimum, effective); 2 – parameters and number of a relative confining layer (k_i – filtration coefficient, m/day; h_i – thickness, m); 3 – direction of the lateral inflow; 4 – direction of the vertical filtering flow due to overflow from the bottom; 5 – aquifers; 6 – waterproof rocks; 7 – ore strata

полупроницаемой толщи, м; L – длина пути вертикальной фильтрации, м.

Неоднородное строение разреза при определении скорости фильтрационного потока учитывается расчетом среднего значения коэффициента фильтрации. В случае движения подземных вод перпендикулярно плоскостям напластования используется формула

$$k_{cp} = \frac{\sum h_i}{\sum (h_i / k_i)}$$

где k_{cp} – средняя по разрезу слоистой мощности величина коэффициента фильтрации, м/сут.; h_i – мощность i -го слоя полупроницаемых пород, м; k_i – коэффициент фильтрации i -го слоя полупроницаемых пород, м/сут. (символ суммы означает суммирование по всем слоям неоднородного разреза).

Величина восходящего фильтрационного потока находится в прямой зави-

симости от площади забоя карьера и увеличивается в процессе наращивания объемов горных работ.

Для расчета бокового притока использован метод «большого колодца», в основе которого лежит основная зависимость определения водопритока к совершенной гидрогеологической скважине в условиях нестационарного режима фильтрации:

$$Q = \frac{2\pi kmS}{\ln \frac{R_t}{r_k}}$$

$$R_t = 1,5\sqrt{at_i}$$

$$r_k = \frac{\sqrt{F}}{\pi}$$

где k – коэффициент фильтрации водовмещающих пород, м/сут.; m – мощность водоносного горизонта, м; S – понижение уровня при водоотливе, м; R_t – текущее значение условного радиуса

влияния, m ; a – коэффициент пьезопроводности, $m^2/сут.$; t_i – продолжительность i -го расчетного периода, сут.; r_k – приведенный радиус «большого колодца», m ; F – площадь забоя карьера.

Расчеты по указанной формуле выполнялись для каждого из водоносных горизонтов отдельно, а результаты вычислений складывались. Это дает возможность не только определить суммарный водоприток, но и оценить в первом приближении его структуру на уровне количественного соотношения частных расходов.

В условиях существенной неоднозначности исходных условий расчеты выполнены в многовариантной постановке в диапазоне изменения значений фильтрационных параметров, размеров карьера и времени его эксплуатации.

Результаты исследования и их обсуждение

Основные результаты выполненных геофильтрационных расчетов показаны в сводной форме (табл. 2). Суммарная величина ожидаемых водопритоков

изменяется в процессе эксплуатации карьера, в значительной мере зависит от размеров забоя и составляет для принятой расчетной схемы величину, близкую в среднем к $200000 m^3/сут.$ В начальный период эксплуатации прогнозная величина водопритоков при стабильных размерах карьера достигает максимума за счет сработки естественных запасов, а за время длительной эксплуатации снижается при одновременном увеличении размеров депрессионной воронки и уменьшении величин гидравлических уклонов. Суммарная величина водопритоков растет с увеличением площади забоя карьера. Вклад отдельных водоносных горизонтов, показанный в табл. 3, можно оценить как стабильный во времени, не испытывающий заметных колебаний в процессе эксплуатации. Полное представление о структуре формирования водопритоков за счет дренирования отдельных водоносных горизонтов дают средние значения их доли в суммарном расходе.

Таблица 2

Изменение прогнозных водопритоков во времени

Table 2

Change in predicted water inflows over time

Вариант расчета	Длина стороны забоя карьера квадратного сечения, м	Суммарный водоприток при различных сроках эксплуатации карьера, $m^3/сут.$			
		300 сут.	1000 сут.	3000 сут.	10000 сут.
1	100	191857	169151	152608	137806
2	200	198353	174248	156789	141245
3	300	204509	179076	160754	144515
4	400	210412	183711	164569	147674
5	500	216127	188205	168280	150760
6	600	221702	192600	171922	153805
7	700	227173	196927	175522	156831
8	800	232570	201209	179100	159856
9	900	237915	205468	182675	162895
10	1000	243228	209717	186258	165959
11	1100	248525	213972	189863	169059
12	1200	253818	218243	193498	172201
13	1300	259119	222539	197172	175394
14	1400	264438	226868	200890	178643
15	1500	269782	231238	204661	181953

Таблица 3

Доля расходов отдельных водоносных горизонтов в суммарном водопритоке, %

Table 3

Flow percentage of individual aquifers in the total water inflow, %

Вариант расчета	Длина стороны забоя карьера квадратного сечения, м	Водоносные горизонты				
		I	II	III	IV	V
1	100	8,5	47,7	32,4	11,3	0,03
2	200	8,5	47,7	32,4	11,3	0,12
3	300	8,5	47,6	32,4	11,3	0,25
4	400	8,5	47,5	32,3	11,3	0,43
5	500	8,5	47,4	32,2	11,2	0,66
6	600	8,4	47,3	32,1	11,2	0,93
7	700	8,4	47,1	32,0	11,2	1,23
8	800	8,4	47,0	31,9	11,1	1,57
9	900	8,3	46,8	31,8	11,1	1,95
10	1000	8,3	46,6	31,7	11,0	2,35
11	1100	8,3	46,4	31,5	11,0	2,78
12	1200	8,2	46,2	31,4	10,9	3,24
13	1300	8,2	46,0	31,2	10,9	3,73
14	1400	8,2	45,7	31,1	10,8	4,23
15	1500	8,1	45,5	30,9	10,8	4,76
Среднее		8,4	46,8	31,8	11,1	1,9

Полученную прогнозную оценку водопритоков следует рассматривать как предварительную, но учитывающую все известные к настоящему времени количественные параметры, характеризующие гидрогеологический разрез в районе предполагаемой первоочередной отработки месторождения.

Выводы

Анализ гидрогеологических условий Бакчарского железорудного месторождения показал, что в целом геологический разрез представляет собой водонасыщенную гидродинамическую систему, состоящую из отдельных коллекторов с разными фильтрационными свойствами.

По результатам исследований наиболее детально изучен водоносный горизонт отложений новомихайловской и юрковской свит в связи с работами по оценке запасов подземных вод для водоснабжения с. Бакчар и Поротниково. Водоносные горизонты отложений тобольской и лагернотомской свит (первый от

поверхности водоносный горизонт); ганькинской свиты (третий от поверхности водоносный горизонт, слагающий непосредственно рудоносную толщу) и отложений ипатовской свиты (четвертый от поверхности водоносный горизонт, подрудная толща) опытными работами практически не изучены.

По сложности гидрогеологических условий участок недр Бакчарского железорудного месторождения предварительно можно отнести к первой группе сложности с простыми геолого-гидрогеологическими условиями по критериям классификации запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод. Особенности геологического строения и гидрогеологических условий позволяют предположить, что при отработке рудной залежи открытым способом в формировании водопритоков будут принимать участие все перечисленные водоносные горизонты. Три водонасыщенные толщи верхней части гидрогеологического разреза должны

быть сдренированы полностью при производстве вскрышных работ и дальнейшей эксплуатации карьера, что обеспечит основной водоприток на забой открытой горной выработки. Водонасыщенные породы подрудной толщи могут повышать суммарный водоприток за счет формирования процессов перетекания через водоупорные породы верхней части ипатовской свиты. Ожидаемые водопритоки в существенной степени будут зависеть от геометрических размеров проектируемой горной выработки.

Необходимо отметить, что на современном этапе изучения особенностей геологического строения и гидрогеологических условий более точная оценка водопритоков невозможна. Это определяется не только слабой изученностью фильтрационных параметров отдельных водоносных горизонтов (коэффициентов фильтрации, водопроницаемости, пьезопроницаемости, водоотдачи), но и отсутствием надежных оценок их пространственной изменчивости. Значительные осложнения возникают с неопределенно-

стью плана горных работ. Это заметно снижает достоверность прогнозных геофильтрационных расчетов, но дает представление о весьма внушительных масштабах необходимого водоотлива, которые заставляют задуматься о сравнительной оценке альтернативных способов добычи рудного материала, например с использованием скважиной гидродобычи.

Наиболее рациональный подход к изучению гидрогеологического разреза предполагает сопровождение гидрогеологических исследований одновременным моделированием гидрогеологических условий с применением численных методов в режиме постояннодействующей модели месторождения в режиме разведочного моделирования. Такой методический прием позволяет не только оперативно получать откорректированные по результатам разведочных работ уточненные прогнозные оценки, но и оптимизировать объемы необходимых разведочных работ.

Библиографический список

1. Западно-Сибирский железорудный бассейн / под ред. Л.И. Шапковской. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1964. 448 с.

2. Николаева И.В. Бакcharское месторождение оолитовых железных руд. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1967. 129 с.

3. Мазуров А.К., Боярко Г.Ю., Емешев В.Г., Комаров А.В. Перспективы освоения Бакcharского железорудного месторождения, Томская область // Руды и металлы. 2006. № 2. С. 64–70.

4. Rudmin M., Banerjee S., Mazurov A. Compositional variation of glauconites in Upper Cretaceous-Paleogene sedimentary iron-ore deposits in South-eastern Western Siberia // *Sedimentary Geology*. 2017. Vol. 355. P. 20–30.

5. Asochakova E. Geochemistry of sedimentary iron ores Bakchar deposit, Western Siberia // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 15th*. 2015. С. 181–188.

6. Asochakova E.M. Features structure of iron-bearing strata's of the Bakchar deposit, Western Siberia // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 9, Petrology of Magmatic and Metamorphic Complexes. Series: 9th All Russian Petrographic Conference with International Participation: Petrology of Magmatic and Metamorphic Complexes. 2018. P. 012002.

7. Dutova E., Nalivaiko N., Kuzevanov K., Pokrovsky V., Vologdina I., Pokrovsky D. Hydrogenous mineral neoformations in Tomsk water intake facility from under-

ground sources // IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. 2016. P. 012017.

8. Karmalov A.I., Dutova E.M., Vologdina I.V., Pokrovsky D.S., Pokrovskiy V.D., Kuzevanov K.K. Hydrogeochemical characteristics of water intakes from groundwater sources in Seversk // IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. 2016. P. 012032.

9. Ломакин Е.М., Мироненко В.А., Шестаков В.М. Численное моделирование геофильтрации. М.: Недра, 1988. 228 с.

10. Аузина Л.И. Гидродинамическая роль граничных условий при расчете обводненности Сюкеевского месторождения гипса (Республика Татарстан) // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2012. № 1 (40). С. 78–86.

11. Хархордин И.Л., Гурин А.Н., Назима В.В., Иванов И.Н. Организация системы гидрогеомеханического мониторинга на месторождении им. М.В. Ломоносова // Горный журнал. 2012. № 7. С. 40–43.

12. Purgina D., Strokova L., Kuzevanov K. Modeling of changing hydrogeological conditions during construction of pier foundations on the Kama river bank // IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. 2016. P. 012046.

13. Аузина Л.И. Особенности обводненности золоторудных месторожде-

ний Витимо-Патомского нагорья // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2017. Т. 40. № 1 (58). С. 127–136.

14. Гридасов А.Г., Кузеванов К.И. Схематизация гидрогеологических условий на участках добычи угольного метана в Кузбассе для обоснования прогнозных гидродинамических расчетов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. № 3 (121). С. 12–22.

15. Дунюшин А.А., Синдаловский Л.Н., Никуленков А.М., Румынин В.Г. О влиянии масштаба опытно-фильтрационных работ на расчетные значения фильтрационных параметров (на примере гидрогеологических исследований на месторождении алмазов им. М.В. Ломоносова) // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2017. № 5. С. 67–80.

16. Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна / отв. ред. Е.В. Пиннекер. М.: Недра, 1991. 262 с.

17. Ермашова Н.А. Гидрогеологическая типизация Бакcharского железорудного месторождения и прогноз условий его освоения // Проблемы и перспективы развития минерально-сырьевой базы и предприятий ТЭК Сибири: материалы Межрегион. науч.-практ. конф. Томск: Изд-во ТПУ, 2005. С. 125–128.

References

1. Shapkovskaja L.I. *Zapadno-Sibirskii zhelezorudnyi bassein* [West Siberian iron ore basin]. Novosibirsk: Siberian branch of the USSR Academy of Sciences Publ., 1964, 448 p. (In Russian).

2. Nikolaeva I.V. *Bakcharskoe mestorozhdenie oolitovykh zheleznykh rud* [Bakchar Deposit of oolitic iron ores]. Novo-

sibirsk: Siberian branch of the USSR Academy of Sciences Publ., 1967, 129 p. (In Russian).

3. Mazurov A.K., Boyarko G.Yu., Emeshev V.G., Komarov A.V. Development prospects of the Bakchar iron ore deposit, Tomsk region. *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2006, no. 2, pp. 64–70. (In Russian).

4. Rudmin M., Banerjee S., Mazurov A. Compositional variation of glauconites in Upper Cretaceous-Paleogene sedimentary iron-ore deposits in South-eastern Western Siberia. *Sedimentary Geology*, 2017, vol. 355, pp. 20–30.

5. Asochakova E. Geochemistry of sedimentary iron ores Bakchar deposit, Western Siberia. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 15th, 2015, pp. 181–188.

6. Asochakova E.M. Features structure of iron-bearing strata's of the Bakchar deposit, Western Siberia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 9, Petrology of Magmatic and Metamorphic Complexes. Series: 9th All Russian Petrographic Conference with International Participation: Petrology of Magmatic and Metamorphic Complexes, 2018, p. 012002.

7. Dutova E., Nalivaiko N., Kuzevanov K., Pokrovsky V., Vologdina I., Pokrovsky D. Hydrogenous mineral neof ormations in Tomsk water intake facility from underground sources. IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science, 2016, p. 012017.

8. Karmalov A.I., Dutova E.M., Vologdina I.V., Pokrovsky D.S., Pokrovskiy V.D., Kuzevanov K.K. Hydrogeochemical characteristics of water intakes from groundwater sources in Seversk. IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science, 2016, p. 012032.

9. Lomakin E.M., Mironenko V.A., Shestakov V.M. *Chislennoe modelirovanie geofil'tratsii* [Numerical simulation of geofiltration]. Moscow: Nedra Publ., 1988, 228 p. (In Russian).

10. Auzina L.I. Hydrodynamic role of boundary conditions when calculating water content of Syukeevskoe gypsum deposit (Tatarstan Republic). *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya seksii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii* [Proceedings of the Siberian Department of

the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. *Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits*], 2012, no. 1 (40), pp. 78–86. (In Russian).

11. Kharkhordin I.L., Gurin A.N., Nazima V.V., Ivanov I.N. Organization of a hydromechanical monitoring system at Lomonosov diamond deposit. *Gornyi zhurnal* [Journal of Mining], 2012, no. 7, pp. 40–43. (In Russian).

12. Purgina D., Strokovaya L., Kuzevanov K. Modeling of changing hydrogeological conditions during construction of pier foundations on the Kama river bank. IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science, 2016, p. 012046.

13. Auzina L.I. Water encroachment features of Vitim-Patom highland gold deposits. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya seksii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. *Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits*], 2017, vol. 40, no. 1 (58), pp. 127–136. (In Russian).

14. Gridasov A.G., Kuzevanov K.I. Generalisation of hydrogeological conditions at coalbed methane fields in the Kuznetsk coal basin for predictional hydrodynamic calculations. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Vestnik of Kuzbass State Technical University], 2017, no. 3 (121), pp. 12–22. (In Russian).

15. Dunyushin A.A., Sindalovskii L.N., Nikulenkov A.M., Rumynin V.G. Scale dependent phenomena in flow test and monitoring data analysis (with application to hydrogeological investigations at the M.V. Lomonosov diamond deposit, Archangelsk Province, RF). *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* [Environmental Geoscience], 2017, no. 5, pp. 67–80. (In Russian).

16. Pinneker E.V. *Resursy presnykh i malomineralizovannykh podzemnykh vod yuzhnoi chasti Zapadno-Sibirskogo artezi-anskogo basseina* [Resources of fresh and low-mineralized groundwater in the southern part of the West Siberian artesian basin]. Moscow: Nedra Publ., 1991, 262 p. (In Russian).

17. Ermashova N.A. *Gidrogeologicheskaya tipizatsiya Bakcharskogo zhelezorudnogo mestorozhdeniya i prognoz uslovii ego osvoeniya* [Hydrogeological typ-

ing of the Bakchar iron ore deposit and forecast of its development conditions]. *Materialy mezhhregion. nauch.-prakt. konf. "Problemy i perspektivy razvitiya mineral'no-syr'evoi bazy i predpriyatii TEK Sibiri"* [Materials of the inter-regional scientific and practical conference "Problems and development prospects of mineral resources base and enterprises of the fuel and energy complex of Siberia"]. Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publ., 2005, pp. 125–128. (In Russian).

Критерии авторства

Кузеванов К.И., Кузеванов К.К., Дутова Е.М., Покровский В.Д. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authorship criteria

Kuzevanov K.I., Kuzevanov K.K., Dutova E.M., Pokrovskiy V.D. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

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