

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ КАРЬЕРА БОРОК (ГОРОД НОВОСИБИРСК)

Анна Федоровна Сухорукова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3/6, к.г.-м.н., научный сотрудник лаборатории, e-mail: SukhorukovaAF@ipgg.sbras.ru; Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, доцент кафедры общей и региональной геологии

Дмитрий Анатольевич Новиков

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3/6, к.г.-м.н., зав. лабораторией, e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru; Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, доцент кафедры геологии месторождений нефти и газа и кафедры общей и региональной геологии

Александр Александрович Черкасов

ООО «Горно-добывающая компания», 630028, Россия, г. Новосибирск, ул. Большевицкая, 270, главный геолог, e-mail: Borok16@mail.ru

Антон Сергеевич Деркачев

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга 3/6, инженер, e-mail: a.derkachev@g.nsu.ru

В статье рассмотрены гидрогеологические особенности разработки старейшего в Сибири гранитного карьера Борок. Установлено, что гидрогеологические условия карьера достаточно сложные. Согласно геологическому строению карьера, выделено два водоносных горизонта: аллювиальных отложений четвертичного возраста и в разной степени обводненных зон верхнепалеозойских гранитов. Оценены основные гидрогеохимические показатели дренажных вод карьера. Проанализированы объемы водопритоков за последние 70 лет. Впервые обоснована роль трещинно-жильных вод палеозойских гранитов, четвертичного водоносного горизонта и атмосферных осадков в обводнении карьера в течение года.

Ключевые слова: гидрогеологические условия, водоприток, разработка, гранитный карьер Борок, город Новосибирск

HYDROGEOLOGICAL FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF THE BOROK QUARRY (NOVOSIBIRSK)

Anna F. Sukhorukova

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Russia, 630090, Novosibirsk, 3/6, Akademika Koptuyuga Ave., PhD, Researcher, e-mail: SukhorukovaAF@ipgg.sbras.ru
Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, 2, Pirogova st., associate professor,

Dmitry A. Novikov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of SB of RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3/6, Akademika Koptuyuga Ave., head of the laboratory, e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru; Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, 2, Pirogova st., associate professor

Alexander A. Cherkasov

Ltd "Mining company", 630028, Russia, Novosibirsk, 270, Bolshevik st., chief geologist, e-mail: Borok16@mail.ru

Anton S. Derkachev

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3/6, Akademika Koptyuga Ave., engineer, e-mail: a.derkachev@g.nsu.ru

The hydrogeological features of the development of the Borok granite quarry, the oldest in Siberia, are considered in the article. It was found that the hydrogeological conditions of the quarry are quite difficult. Two aquifers: alluvial deposits of the Quaternary age and Paleozoic granites were identified according to the geological structure of the quarry, assessing the main hydrogeochemical indicators of the drainage waters of the quarry. The volume of water inflows for the last 70 years has been analyzed. The role of fissure-vein waters of Paleozoic granites, Quaternary aquifer and atmospheric precipitation during the year is substantiated.

Keywords: hydrogeological conditions, water inflow, development, Borok granite quarry, Novosibirsk city

Карьер Борок расположен в южной части Октябрьского района г. Новосибирска в правом борту р. Иня в 500 метрах от места впадения ее в Обь (рис. 1 а). В 200-250 м на юге от месторождения – шоссе и железнодорожная линия, соединяющие г. Новосибирск с Алтайским краем и Кузбассом.

Эксплуатация месторождения началась кустарными разработками еще в конце XIX века для строительных нужд быстро развивающегося города (тогда еще Новониколаевска) и транссибирской железнодорожной магистрали. Официальной датой открытия карьера считается 1908 год, до 1935 года карьер разрабатывался местными организациями для нужд города, затем перешел в систему Наркомата путей сообщения и эксплуатировался Томской железной дорогой. Карьер был заложен в холме с сосновым бором, отсюда произошло название Борок. По имеющимся фондовым данным, запасы по категории А составляли в 50-80-х годах прошлого века от 2300 до 4500 тыс.м³, в начале 2000- х годов 400-900 тыс.м³. Балансовые запасы месторождения на январь 2021 года оцениваются в 3000 м³. Продукция карьера сертифицирована для производства строительного щебня, декларирована для дорожного строительства. За все историю его эксплуатации, по грубым подсчетам, добыто более 40 млн тонн каменного материала.

Разработка строительного камня месторождения «Борок» ведется добычными уступами высотой по 10 м. Разрушение горной массы взрывом (буровзрывные работы выполняются с привлечением специализированных подрядных организаций); взрывчатое вещество на основе аммиачной селитры – Гранулит, Нитронит (для сухих скважин), Эмуласт, Сибирит (для обводненных). Для этих целей ведется проходка сетки скважин глубиной до 10-12 м. Добытая горная масса транспортируется автосамосвалами на дробильно-сортировочные комплексы, после дробления и пофракционной сортировки продукция перемещается на склад готовой продукции. В дальнейшем готовая продукция отгружается потребителю с применением весового контроля.

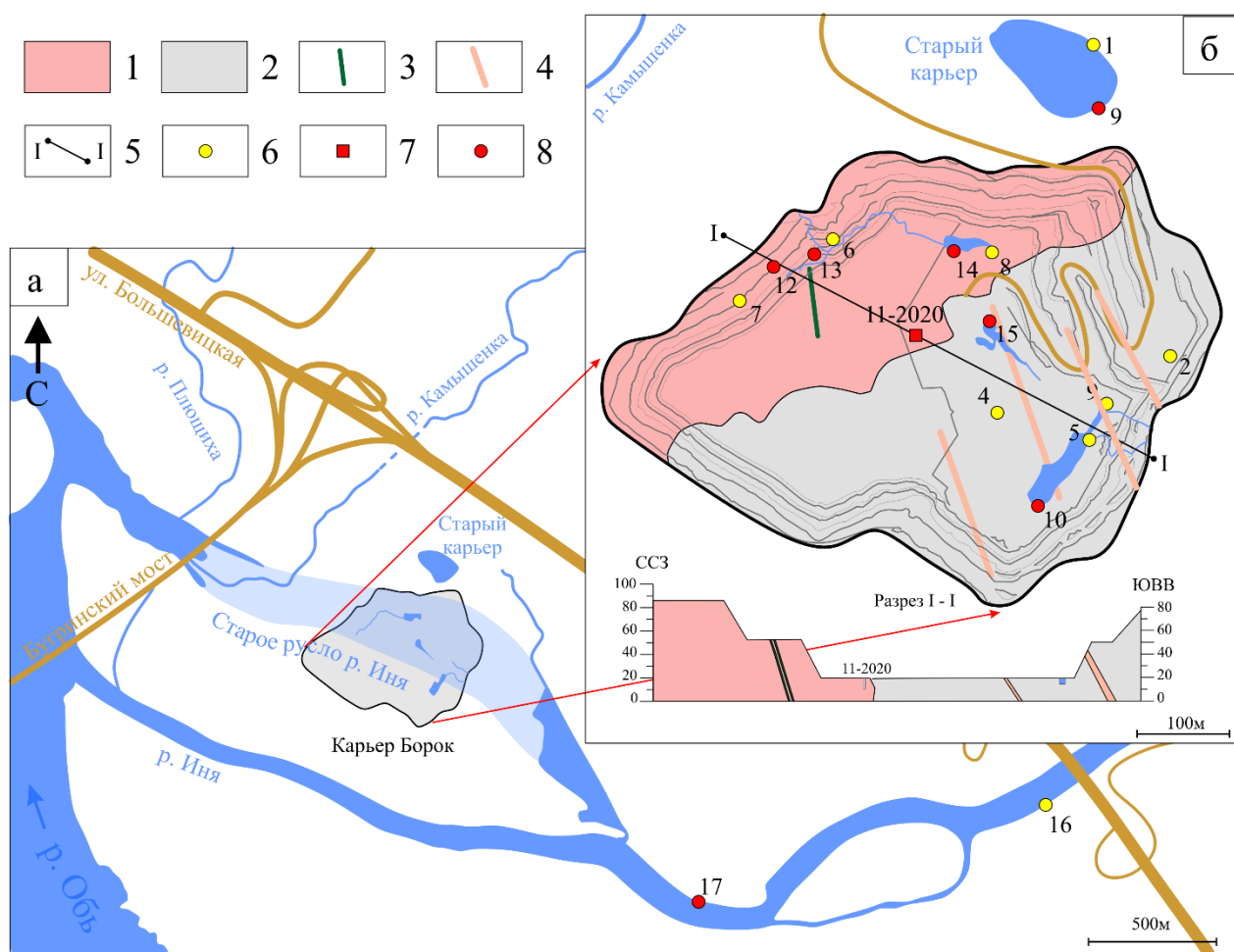


Рис. 1. Местоположение карьера Борок (а) и схема геологического строения (б)
 1 – гранитоиды, 2 – роговики, 3 – лампрофиры, 4 – гранодиориты, 5 – линия разреза,
 6 – точки отбора проб (2019 год), 7 – точка отбора воды из скважины (2020 год),
 8 – точки отбора проб (2020 год)

В настоящее время на месторождении сформирована карьерная выемка и ведется отработка запасов на горизонте +10 м. Горные работы ведутся по продольной однобортовой углубочной системе, разработки с переменным положением рабочей зоны. («Классификация систем открытой разработки», предложенной академиком В.В. Ржевским [1]).

Проектный результирующий угол погашения борта карьера при его максимальной высоте 95 м, с учетом устройства предохранительных берм шириной по 8,0 м, равен 55,0°. Принятые углы уступов подобраны в соответствии с физико-механическими свойствами пород месторождения и не превышают значений, установленных в Федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности согласно «Правила безопасности...» [2]. Разрабатываемые породы по степени трещиноватости относятся категории средне- и сильнотрещиноватые.

На горизонте +10 м расположен основной водосборник (зумпф) с насосными установками, данная система водоотлива исключает затопление горной выемки. Геометрические размеры водосборника: $h=5$ м, $B=20$ м, $L=60$ м.

Максимальный водоприток в карьер отмечается во время таяния снега, часовой объем составляет – 1900 м³/час, соответственно объем водосборника в соответствии с регламентирующим документом [3] принят не менее 6000 м³. Для перекачки воды используются стационарные насосные установки типа 1Д 1250-125 производительностью 1250 м³/час в количестве 2-х единиц и 300Д70 производительностью 1080 м³/час в количестве 1-а единица, две установки в работе, одна (300Д70) резервная.

Среди множества проблем при разработке карьеров месторождений полезных ископаемых открытым (карьерным) способом ключевой одной из самых сложных является прогноз водопритоков в выработки [4].

В рамках настоящих исследований были обобщены материалы ООО «Горнодобывающая компания» по водопритокам в карьер Борок и составлена электронная база данных общим объемом более 1500 записей, отобраны и проанализированы 17 проб воды в 2019-2020 годах (рис.1б). Пробы отбирались в местах их выхода на поверхность в бортах карьера, в старом карьере, зумпфах, служащих накопителями воды, скважинах, пройденных для взрывных работ, а также из поверхностных вод реки Иня (выше и ниже места сброса дренажных вод карьера). Лабораторное изучение их химического состава проводилось методами титриметрии, ионной хроматографии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой проводилось в ПНИЛ гидрогеохимии ИШПР ТПУ. Данные по количеству атмосферных осадков и среднесуточной температуре за анализируемый период были взяты с информационного портала «Погода и климат» [5].

Месторождение приурочено к юго-восточному контакту Новосибирского верхнепалеозойского массива гранитоидов ($\epsilon\text{P}_3 - \text{T1p}_2$) с песчано-глинистыми сланцами пачинской свиты верхнего девона (DЗр ϵ), которые в результате контактового метаморфизма превращены в роговики. Гранитоиды и роговики пронизаны многочисленными дайками кислого состава, реже дайками лампрофиров. Палеозойские породы до начала эксплуатации месторождения практически на всей площади были перекрыты осадками четвертичного возраста первой надпойменной и пойменной террас рек Обь и Иня мощностью до 5-12 м. [6,7,8,9,10]. К настоящему времени в контуре разведки рыхлые, скальные вскрышные породы и породы верхней трещиноватой зоны, связанной с процессами выветривания полностью удалены.

В пределах месторождения гранитоиды имеют зональное строение, в направлении к контакту происходит смена биотит-роговообманковых гранитов на гранодиориты, а иногда и на кварцевые диориты и диориты. Восточную часть месторождения слагают роговообманковые роговики (рис.1б). Соотношение этих петрографических разновидностей пород (гранитоидов и роговиков) в составе полезной толщи исходя из площадного распространения 43%:57%

В процессе разведки и эксплуатации месторождения проводился крайне малый объем гидрогеологических исследований: в единичных скважинах оценивались фильтрационные свойства пород, проводились исследование химического состава воды, расчет водопритоков в карьер. Первая гидрогеологическая характеристика месторождения была дана в 1955 году А.С. Полиновским во время гео-

лого-разведочных работ под руководством Г.В. Баландина, дальнейшие исследования карьера Борок в 70-80-х годах прошлого века связаны с именами геологов и гидрогеологов Новосибирской геолого-поисковой экспедиции (А.В. Павлов, В.И. Грязнова, Г.Т. Голодняк, В.Н. Лукьяшко, Л.Е. Ударцева, Г.Ф. Вавилихин и других).

В пределах карьера выделяется водоносный горизонт аллювиальных четвертичных отложений (супеси, суглинки и песчано-гравийно-галечниковые отложения). Режим грунтовых аллювиальных вод находится в прямой зависимости от режима рек Иня и Обь и количества выпадающих атмосферных осадков. По результатам опытных работ удельные дебиты скважин составляют 0,1-0,6 л/с, при среднем коэффициенте фильтрации 4,8 м/сут и средней водопроницаемости 47,0 м²/сут. Ниже залегает водоносный горизонт палеозойских интрузивов, представленный в основном гранитами, в меньшем объеме аплитами, гранит-порфидитами, роговиками. Воды трещинно-жильные, напорные. По результатам опытных откачек палеозойские образования характеризуются невысокой водообильностью с средним удельным дебитом скважин 0,02 л/с. Средние величины коэффициента фильтрации составляют 1,4 м/сут, а коэффициента водопроницаемости не более 1 м²/сут. Питание осуществляется посредством межпластовых перетоков из вышележащего четвертичного горизонта, атмосферными осадками и дренажа из реки Иня.

За более чем 100 летнюю эксплуатацию карьера его площадь и глубина существенно увеличились, что привело к значительному изменению гидрогеологических условий месторождения. Если в начале прошлого века месторождение представляло собой останец, возвышающийся над окружающей поверхностью, то в настоящее время это карьер глубиной более 80 м (абсолютная отметка дна рабочей зоны +10 м). Также значительно увеличилась площадь карьера (более чем в 10 раз), если в 1954 г. она составляла около 27300 м² при глубине карьера 22 м, то в 2020 г. уже 345000 м². В настоящее время старый карьер используется как водосборник, из которого ведется откачка и сброс дренажных вод в искусственно образованный ручей, впадающий в реку Иня. В связи с необходимостью увеличения добычи каменного материала, в 1988 году русло реки Иня было перенаправлено (приблизительно 500 м на юго-запад) в протоку Курья, что существенно изменило гидрогеологическую обстановку в зоне активного водообмена (рис. 1 а). До отвода русла реки Иня, рассчитанные притоки в карьер были выше в 2-2,5 раза, по сравнению с фактическими притоками в 2019-2020 годах. Этот факт свидетельствует об уменьшении доли вод аллювиального водоносного горизонта в общем водопитоке в настоящее время.

По данным И.В. Фёклина длительная эксплуатация карьера привела к формированию депрессионной воронки с радиусом влияния не менее 3200 м, деформированной в восточном-северо-восточном направлении (в противоположную сторону от рек Иня и Обь). Как показывают результаты мониторинговых наблюдений, значительных изменений в существующем режиме вод, связанных с четвертичными отложениями и породами палеозоя при дальнейшей эксплуатации карьера не ожидается. В настоящее время объем карьера составляет 17,7 млн м³.

При среднегодовом водопритоке в размере 2,3 млн м³ карьер без постоянных откачек полностью заполнится водой приблизительно за 8 лет. Основной водоотлив в карьере организован на горизонте с абсолютной отметкой +50,0 м – главный водоем находится в северной части отработки, сбор поверхностных и подземных вод в который происходит по водоотводным канавам.

Начиная с 50-х годов прошлого века предпринимались попытки оценить объемы вод, поступающих в карьер, и роль поверхностного и подземного стока. Реального учета откачиваемых объемов воды не велось вплоть до 2019 года (рис. 3). Поэтому анализ рассчитанных объемов вод, учитываемых в прошлые годы при эксплуатации месторождения, показал значительное завышение этих величин по сравнению с реальными более чем в два раза. Особенно сильно завышение прослеживалось в летние месяцы. Автоматический учет водопритоков 2019-2020 гг. (по данным ООО «Горно-добывающая компания») показал, что реальные цифры варьируют в объеме 2,24 – 2,35 млн м³ в год.

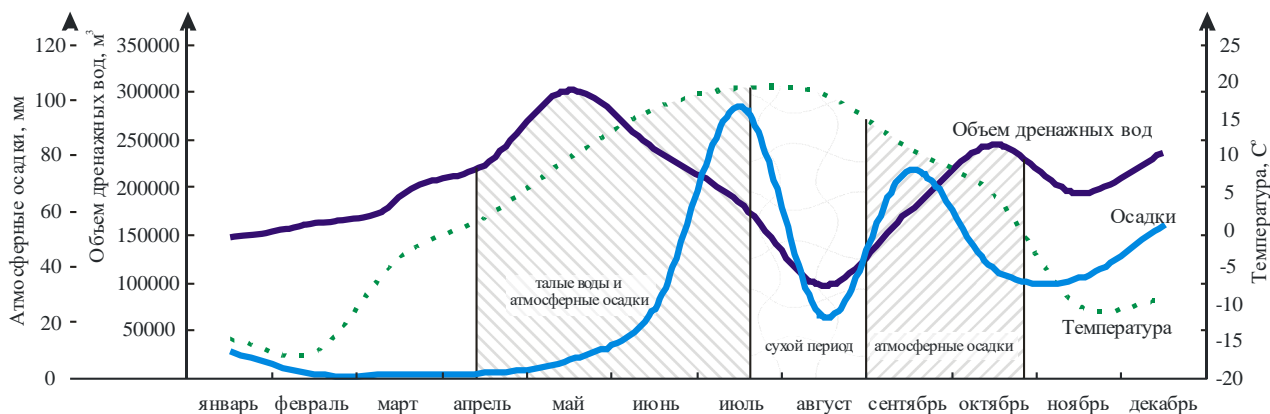


Рис. 2. Объемы дренажных вод карьера Борок в соответствии с количеством атмосферных осадков и среднесуточной температурой в 2019 году

Кроме общей характеристики гидрогеологических условий карьера Борок в период с 1950-х по 1980-е года предпринимались попытки оценить роль трещинно-жильных вод палеозойских гранитов, четвертичного водоносного горизонта и атмосферных осадков вод в общем объеме дренажных вод в карьер. Приток за счет атмосферных осадков оценивался как поверхностный сток при сформированной водосборной площади и среднегодовом количестве осадков. При этом четких критериев по разделению объемов притока не было разработано.

Принимая во внимание современные материалы по объемам водопритоков в карьер можно выполнить вероятностную оценку доли трещинно-жильных вод в его обводнении. В холодный период года (с ноября по март) водоприток в карьер за счет атмосферных осадков в виде дождя отсутствовал (рис.2), а инфильтрация из водоносного горизонта аллювиальных четвертичных отложений была минимальной. Средний водоприток в это время составлял около 5100 м³/сут и его можно считать поступающим из трещиноватых палеозойских пород. С мая

по октябрь объемы дренажных вод увеличились до 6400 м³/сут, и разницу (в среднем 1300 м³/сут) можно отнести к вкладу атмосферных осадков и вод четвертичных отложений.

Установлено, что основной объем воды, поступающий в карьер, относится к трещинно-жильным водам палеозойских гранитов, при этом их питание происходит за счет аллювиальных вод и вод атмосферных осадков, что определяет их разнообразие по химическому составу. Преобладают воды Cl-SO₄-HCO₃ Na-Mg-Ca и SO₄-HCO₃ Na-Mg-Ca состава с величиной общей минерализации от 572 до 697 мг/дм³ и содержанием кремния от 0,89 до 10,53 мг/дм³. Параметры среды отвечают окислительной геохимической обстановке с величинами pH от 7,6 до 8,5; Eh от +150,2 до +261,0 мВ и O₂раств. от 3,4 до 11,4 мг/дм³. Максимальные содержания природных радионуклидов составляют: урана до 0,21 мг/дм³, тория до 9,62·10⁻⁵ мг/дм³, а активность радона варьирует в интервале от 1 до 89 Бк/дм³. Невысокие концентрации ²²²Rn в водах следует связывать с местонахождением карьера Борок в зоне контакта Новосибирского гранитоидного массива с песчано-глинистыми сланцами девонского возраста.

В заключении необходимо отметить, что впервые за более чем вековую историю разработки карьера Борок, проанализированы гидрогеологические условия и получены актуальные сведения о геохимии дренажных вод. Произошло их существенное изменение за счет переноса русла реки Иня и снижение доли вод аллювиального водоносного горизонта и дренажа из самой реки в общем обводнении карьера. Как показывает опыт прошлых лет, эксплуатация карьера без постоянной откачки поступающих вод невозможна. Установлено, что основной объем воды, поступающий в карьер, относится к трещинно-жильным водам палеозойских гранитов, при этом их питание происходит за счет аллювиальных вод и вод атмосферных осадков, что определяет их разнообразие по химическому составу.

Исследования проводились при финансовой поддержке проекта ФНИ № 0331–2019–0025 и Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 19–45–540004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Производственные процессы. – Изд-во Лананд, 2014. – 512 с.
2. Приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 N 505 "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых" (Зарегистрировано в Минюсте России 21.12.2020 N 61651).
3. Приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 N 507 "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности в угольных шахтах" (Зарегистрировано в Минюсте России 18.12.2020 N 61587).

4. Бокий Л.Л., Крячко О.Ю., МIRONENKO В.А., Мольский Е.В., Норватов Ю.А., Рюмин А.Н., Сердюков Л.И., Стрелький Ф.П. Гидрогеологические исследования в горном деле. – Москва: Недра, 1976. – 352 с.
5. [Электронный ресурс] URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> - дата обращения 2021.02.15.
6. Бельштерли М.К. Граниты Новосибирска // Труды Петрографич. ин-та АН СССР. – 1933. – Вып. 3. – С. 13–19.
7. Варкасин Ю.Н., Свиридов В.Г., Росляков Н.А., Афанасьев А.Т., Вавилихин Г.А., Васильев И.П., Виниченко В.И., Леонов А.Н., Марус А.И., Михантьева Л.С., Нестеренко Г.В., Самсонов Г.Л., Сердюк З.Я. Геологическое строение и полезные ископаемые Западной Сибири. Том II Полезные ископаемые. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1998. – 254 с.
8. Гусев А.И. Геологическое строение и полезные ископаемые района г. Новосибирска. – Томск: Издание Зап.-Сиб. геолого-гидрогеодезического треста, 1934. – 101 с.
9. Сотников В.И., Федосеев Г.С., Пономарчук В.А. и др. Гранитоидные комплексы Колывань-Томской складчатой зоны (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41. – № 1. – С. 120–125.
10. Гранитные карьеры Новосибирского Приобья: Путеводитель экскурсии / сост.: Г. С. Федосеев, С. В. Жигалов, Н. Н. Крук // II Междунар. геол. конф. «Граниты и эволюция Земли: граниты и континентальная кора». – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – 30 с.

REFERENCES

1. Rzhhevskij V.V. Otkrytye gornye raboty. Proizvodstvennyye processy. – Izd-vo Lenand, 2014. – 512 s.
2. Prikaz Rostekhнадзора от 08.12.2020 N 505 "Ob utverzhdenii Federal'nyh norm i pravil v oblasti promyshlennoj bezopasnosti "Pravila bezopasnosti pri vedenii gornyh rabot i pererabotke tverdyh poleznyh iskopaemyh" (Zaregistrirvano v Minyuste Rossii 21.12.2020 N 61651).
3. Prikaz Rostekhнадзора от 08.12.2020 N 507 "Ob utverzhdenii Federal'nyh norm i pravil v oblasti promyshlennoj bezopasnosti "Pravila bezopasnosti v ugol'nyh shahtah" (Zaregistrirvano v Minyuste Rossii 18.12.2020 N 61587).
4. Bokij L.L., Kryachko O.YU., Mironenko V.A., Mol'skij E.V., Norvatov YU.A., Ryumin A.N., Serdyukov L.I., Strel'kij F.P. Hidrogeologicheskie issledovaniya v gornom dele. – Moskva: Nedra, 1976. – 352 s.
5. [Elektronnyj resurs] URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> - data obrashcheniya 2021.02.15.
6. Bel'shterli M.K. Granity Novosibirsk // Trudy Petrografich. in- ta AN SSSR. – 1933. – Vyp. 3. – S. 13–19.
7. Varkasin YU.N., Sviridov V.G., Roslyakov N.A., Afanas'ev A.T., Vavilihin G.A., Vasil'ev I.P., Vinichenko V.I., Leonov A.N., Marus A.I., Mihant'eva L.S., Nesterenko G.V., Samsonov G.L., Serdyuk Z.YA. Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye Zapadnoj Sibiri. Tom II Poleznye iskopaemye. – Novosibirsk: Izd- vo SO RAN, NIC OIGGM, 1998. – 254 с.
8. Gusev A.I. Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye rajona g. Novosibirsk. – Tomsk: Izdanie Zap.-Sib. geologo-gidrogeodezicheskogo tresta, 1934. – 101 s.
9. 9. Sotnikov V.I., Fedoseev G.S., Ponomarchuk V.A. i dr. Granitoidnye komplekсы Kolyvan'-Tomskoj skladchatoj zony (Zapadnaya Sibir') // Geologiya i geofizika. – 2000. – Т. 41. – № 1. – S. 120–125.
10. Granitnye kar'ery Novosibirskogo Priob'ya: Putevoditel' ekskursii / sost.: G. S. Fedoseev, S. V. Zhigalov, N. N. Kruk // II Mezhdunar. geol.konf. «Granity i evolyuciya Zemli: granity i kontinental'naya кора». – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2014. – 30 с.

© А. Ф. Сухорукова, Д. А. Новиков, А. А. Черкасов, А. С. Деркачев, 2021