

References

1. Drozdov A. V., Iost N. A., Lobanov V. V. Cryo-hydrogeology of diamond deposits in Western Yakutia. Irkutsk: IrGTU, 2008. 507 p.
2. Alekseev S. V. Cryo-hydrogeological systems in Yakutia diamond province. Novosibirsk: GEO, 2009. 319 p.
3. Drozdov A. V. Natural and manmade-natural reservoirs for industrial effluents in cryolite: A case-study of Yakutia part of the Siberian Platform. Yakutsk: SVFU, 2011. 415 p.
4. Kolganov V. F., Akishev A. N., Drozdov A. V. Geological and hydrogeological peculiarities of primary diamond deposits in Yakutia. Mirny: Yakutniproalmaz, 2013. 568 p.
5. Kostrovskiy S. I., Spetsius Z. V., Yakovlev D. A., Fon-der-Flaas G. S., Suvorova L. F., Bogush I. N. Atlas of primary diamond deposits of Yakutian kimberlite province. Mirny: OOO MGT, 2015. 480 p.
6. Elantseva L. A., Fomenko S. V. Hydrogeology of Udachnaya kimberlite pipe. *Ecological and Economic Balance in Nature Use in Mining Regions: Proceedings of Annual Session of Russian Academy of Sciences Board for Challenges in Geoecology, Engineering Geology and Hydrogeology (Sergeev's Lectures)*. Perm: Permskiy gosudarstvennyi natsionalnyi issledovatel'skiy universitet, 2019. Iss. 21. pp. 303–308.
7. Szymkiewicz A. Modelling Water Flow in Unsaturated Porous Media: Accounting for Nonlinear Permeability and Material Heterogeneity. Berlin: Springer-Verlag, 2014. 237 p.
8. Anderson M. P., Woessner W. W., Hunt R. J. Applied Groundwater Modeling. Simulation of Flow and Advective Transport. 6nd ed. London: Academic Press, 2015. 720 p.
9. Yan Su, Davidson J. H. Modeling Approaches to Natural Convection in Porous Media. Cham: Springer, 2015. 47 p.
10. Maliva R. G. Aquifer Characterization Techniques. Schlumberger Methods in Water Resources Evaluation Series No. 4. Cham: Springer, 2016. 617 p.
11. Depner J. S., Rasmussen T. C. Hydrodynamics of Time-Periodic Groundwater Flow. Diffusion Waves in Porous Media. Washington: American Geophysical Union, 2017. 304 p.
12. El-Kadi A. I. Groundwater Models for Resources Analysis and Management. Boca Raton: CRC Press, 1995. 432 p.
13. Dassargues A. Hydrogeology: Groundwater Science and Engineering. Boca Raton: CRC Press, 2018. 492 p.
14. Auzina L. I. Underground water dynamics: Teaching aid. Irkutsk: Izdatel'stvo IrNITU, 2019. 113 p.
15. Grinevskiy S. O. Hydrogeodynamic modeling of ground and surface water intercommunication. Moscow: Infra-M, 2020. 153 p.
16. Stadnik D. A., Kurtsev B. V., Kuznetsov Yu. N., Stadnik N. M. Guidelines on 3D digital modeling of georesource potential in stratified mineral deposits: Summary of lectures and practical exercises. Moscow: Gornaya kniga, 2021. 224 p.
17. Elantseva L. A., Fomenko S. V. Improvement of drainage brine recycling by re-injection in permafrost rock mass. *Waste Management: Challenges of Geoecology and Engineering Geology (Sergeev's Lectures)*. IX International Ecology Forum. Proceedings of Annual Session of Russian Academy of Sciences Board for Challenges in Geoecology, Engineering Geology and Hydrogeology. Moscow: RUDN, 2018. Iss. 20. pp. 235–239.
18. Drozdov A. V. Disposal of drainage brines in permafrost rocks: A case-study of permafrost zone of the Siberian Platform. Irkutsk: Irkutskiy gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2007. 295 p.

УДК 556.3:622

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ВОЛЬФРАМ-МОЛИБДЕНОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ТЫРНЫАУЗ

В. В. ХАУСТОВ, проф., д-р геол.-минерал. наук, khaustov@bsu.edu.ru

Н. А. ЛУКЬЯНЕНКО, аспирант

Н. Б. АГАРКОВ, аспирант

В. Н. ТЮПИН, проф., д-р техн. наук

Институт наук о Земле НИУ «БелГУ», Белгород, Россия

Введение

Изучение формирования дренажных вод рудных месторождений десятилетиями остается актуальным, прежде всего в связи с экологическими проблемами как на эксплуатационном, так и на постэксплуатационном этапе [1–3]. Так, остановленный еще в 2000 г. Тырнаузский вольфрам-молибденовый комбинат по сей день оказывает негативное влияние на окружающую природную среду [4].

В 2020 г. Госкорпорация «Ростех» приступила к работам по возобновлению деятельности предприятия по добыче и переработке вольфрам-молибденовых руд Тырнаузского месторождения. Следовательно, исследования гидрогеологического режима месторождения не менее актуальны и сегодня.

Объект исследований

Тырнаузское вольфрам-молибденовое месторождение локализовано в восточной части выклинивания геосинклинальной области Передового хребта на пересечении двух тектонических

Рассмотрены особенности формирования дренажных вод высокогорного Тырнаузского месторождения вольфрам-молибденовых руд на эксплуатационном этапе. Проанализированы изменения водопритока в горные выработки подземного рудника «Молибден». Исследованы изменения температуры дренажных вод Центрального рудного поля месторождения и вод поверхностных водотоков.

Ключевые слова: месторождение Тырнауз, гидрогеологические условия, подземные воды, водоприток, факторы формирования, схема водоотлива, тепловизионная съемка.

DOI: 10.17580/gzh.2021.08.14

структур — Тырнауз-Пшекишской шовной зоны и субмеридионального поднятия [5].

Район активизирован в альпийский этап складчатости и вовлечен в орогенное поднятие Большого Кавказа. Рудное поле Тырнаузского месторождения отличается максимальной сложностью структуры домезозойского субстрата, альпийских и новейших деформаций, а также большим возрастным и формационным разнообразием стратифицированных образований и проявлений магматизма.

В геологическом строении рассматриваемой территории принимают участие протерозойские кристаллические сланцы комплекса основания, отложения раннегерцинского звесоинклинального, позднегерцинского орогенного, раннеальпийского субплатформенного комплексов, позднеальпийские вулканиты, а также интрузии герцинского и альпийского этапов развития.

В 1940 г. был построен и введен в эксплуатацию горно-обогатительный комбинат на базе Тырнаузского вольфрам-молибденового месторождения, которое отработывали с 1940 по 1968 г. подземным способом (рудник «Молибден»), с 1968 по 1993 г. – комбинированным, одновременно подземным и открытым способами, с 1994 по 2001 г. – только подземным способом. На комбинате во второй половине XX в. ежегодно перерабатывали 6,6 млн т руды и производили около 14 тыс. т концентратов [5]. В 2001 г. комбинат приостановил свою работу. Решение о возобновлении эксплуатации крупнейшего в России вольфрам-молибденового месторождения было принято только в 2012 г. [6].

Обсуждение результатов исследований

К источникам формирования подземных вод в районе рудника «Молибден» относятся поверхностные водотоки, паводковые воды и атмосферные осадки.

Подземные воды, формирующие дренажный сток на месторождении, относятся преимущественно к трещинному или трещинно-жильному типу. Они представляют единую водоносную систему, в пределах которой по условиям питания, характеру циркуляции и химическому составу четко выделяются две гидрогеологические зоны с разделяющей их подзоной смешения.

К верхней гидрогеологической зоне относятся воды инфильтрационного генезиса, режим которых тесно связан с режимом поверхностных водотоков и ходом атмосферных осадков. Нижнюю гидрогеологическую зону образуют напорные углекислые воды с повышенной минерализацией [7], которые вскрыты преимущественно штольнями Северного разведочного участка. В пределах рудника «Молибден» они почти не проявлялись.

Гидрогеологические условия исследуемого района определяются структурными, фациально-литологическими и геоморфологическими его особенностями.

В пределах рудного поля развиты разнообразие по литологическому составу горные породы, которые различаются по проницаемости и трещиноватости, что позволяет выделить среди них следующие типы объектов гидрогеологической стратификации: водоносный горизонт пластово-поровых вод рыхлых четвертичных отложений; водоносная карстовая зона карбонатных пород (различные по составу мраморы); водоносная зона экзогенной трещиноватости кристаллических (изверженных и метаморфических) пород; водоносная зона разлома (крупные дизъюнктивные нарушения) [8].

В районе месторождения весьма развита трещиноватость выветривания, в связи с чем все массивы дочетвертичных горных пород содержат подземные воды и отличаются несколько повышенной водообильностью, проявляющейся в обнажениях. С глубиной водообильность пород уменьшается в результате затухания трещиноватости. Карстовые явления в пределах развития карбонатных пород связаны с дизъюнктивной тектоникой и нередко способствуют образованию мощных водоносных карстовых зон.

Тектоногенная трещинно-карстовая система дренирования месторождения представлена сетью крупных трещин и пустот

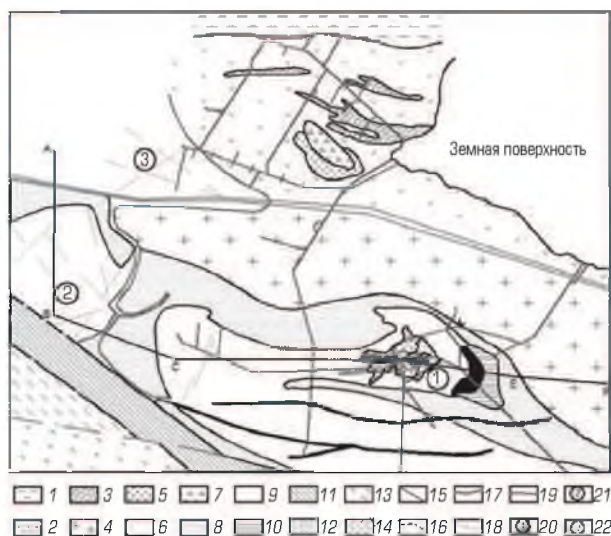


Рис. 1. Схематический геологический план горизонта 2317 м Тырнаузского месторождения:

1 – конгломераты; 2 – роговики по осадочным породам; 3 – ультраосновные породы; 4 – эльджуртинский гранит; 5 – лейкократовые гранитоиды; 6 – скарны; 7 – конглобрекция; 8 – песчаники мукуланской свиты; 9 – карбонатные породы (массивные и слоистые мраморы); 10 – отработанный массив горных пород; 11 – черные сланцы мукуланской свиты; 12 – гранитоиды; 13 – темно-серые алевролиты и сланцы; 14 – липариты; 15 – границы распространения трещинно-карстовых вод; 16 – условная поверхность трещинно-карстовых вод; 17 – зона дробления Центрального разлома; 18 – дизъюнктивные нарушения; 19 – горизонтальные горные выработки; 20 – бассейн трещинно-карстовых вод мраморов Центрального рудного поля; 21 – бассейн трещинно-карстовых вод мраморов пика Вера; 22 – бассейн трещинно-карстовых вод мраморов в районе источника Тырнауз-Су

различного раскрытия, обладающих относительно высокой водообильностью. Эти трещины наложены на густую сеть микротрещин и играют роль своеобразных подземных галерей, дренирующих воду, содержащуюся в обводненных блоках месторождения. Выделяют три самостоятельных бассейна трещинно-карстовых вод: Центрального рудного поля, мраморов пика Вера и в районе источника Тырнауз-Су (рис. 1) [9].

Бассейн Центрального рудного поля. В пределах этого бассейна осуществляли добычные работы на руднике «Молибден». Вся внутренняя часть бассейна сложена массивными и слоистыми мраморами, инъецированными лейкократовыми гранитоидами в виде ветвящихся тел неправильной формы и протяженными дайками липаритов.

Трещинно-карстовый бассейн мраморов пика Вера. Представляет собой блок мраморов изометричной формы в плане размером около 500×500 м и высотой более 1000 м, окруженный со всех сторон роговиками. Блок разбит многочисленными крутопадающими трещинами северо-восточного



Рис. 2. Динамика изменения водопритока в горные выработки рудника «Молибден»

и северо-западного простирания. Трещины обоих направлений закарстованы.

Карстовый бассейн мраморов в районе источника Тырнауз-Су. Данный бассейн является областью питания трещинно-карстовых вод. Область распространения карста влияет на обводненность Центрального рудного поля и является одним из источников поступления дренажных вод в горные выработки месторождения, находится за барражем (северным гребнем эльджуртинского гранита).

Карстовые полости почти всегда обводнены. Естественная разгрузка трещинно-карстовых вод происходит по склонам хребта Уллу-Тырнауз, но наибольшая их часть дренируется горными выработками рудника. Здесь трещинно-карстовые воды образуют мощные водопритоки. Оценка водопритоков требует особого внимания и является обязательным регламентом при эксплуатации месторождений твердых полезных ископаемых [10–13].

В целом из динамики изменения водопритока в горные выработки следует, что с 1975 по 1986 г. наблюдался постепенный его подъем за счет расширения фронта горных работ на руднике «Молибден» (рис. 2). В дальнейшем происходило снижение водопритока за счет дренирования карстовых полостей, затронутых горными работами, а новые полости в связи с незначительной добычей руды не вскрывали.

В последние годы наблюдений среднегодовой водоприток составил от 427 м³/ч в 1993 г. до 420 м³/ч в 1997 г. Максимальный приток в горные выработки подземного рудника «Молибден» с 1964 по 1997 г. составил 957,9 м³/ч (в 1979 г.).

В 1997 г. добычу руды на руднике «Молибден» практически прекратили.

По данным замеров водопритоков из штолен осенью (октябрь – ноябрь) 2018 г., выполненных ООО «Управляющая компания «ДонГИС», водоприток составил 494,3 м³/ч.

В середине сентября 2020 г. ОАО «ВИОГЕМ» выполнило замеры расходов в местах выходов воды из штолен. Для измерения скорости водного потока использовали микрокомпьютерный расходомер-скоростемер МКРС. По данным изысканий ОАО «ВИОГЕМ», приток вод в подземные горные выработки составил 571 м³/ч.



Рис. 3. Схема шахтного водоотлива

Резкопересеченный рельеф, штольневый способ разведки и вскрытия запасов в период отработки Тырнаузского месторождения облегчали отвод подземных вод и не требовали выполнения дорогостоящих осушительных мероприятий, однако, как показал опыт отработки рудника «Молибден», все же возникали сложности по отводу шахтных вод в обход рудоспусков. Кроме того, на нижних горизонтах рудника в ряде мест требовалось бурение опережающих скважин для снижения гидростатического напора подземных вод, заключенных в трещинах и локальных карстовых пустотах.

Основной выработкой, по которой отводили шахтные воды, являлась штольня № 23 гор. 2015 м. С вышележащих горизонтов воду перепускали по водоперепускным скважинам, вплоть до гор. 2015 м (рис. 3).

Из результатов предварительной оценки обводненности существующих на сегодня горных выработок рудника «Молибден» следует, что притоки подземных вод в холодный период года могут составить 450–600 м³/ч; в летний период (период паводковых водопритоков), в зависимости от водности года и проектного подвигания горных работ в сторону закарстованных зон, они могут увеличиться на 25–40 % и достигнуть 560–840 м³/ч.

Тепловизионная инфракрасная съемка на месторождении Тырнауз с помощью тепловизора Infometrics-760, выполненная ОАО «ВИОГЕМ» в сентябре 2020 г., полностью подтвердила сформулированные выводы об основных источниках формирования дренажных вод (рис. 4).

Съемка была выполнена в десятиградусном диапазоне температур после захода солнца с одной точки юго-западного борта карьера на гор. +2380 м. Съемку выполняли от пика Веры в сторону западного, северного, восточного и юго-западного бортов карьера «Мукуланский».

Результаты инфракрасной съемки показали, что в период ее проведения на высотах с абс. отм. 2350–2600 м после захода солнца температура воздуха и пород опускалась очень быстро и в отсутствие солнца в зависимости от времени освещения участков карьера температура пород составила от 11,8 °С (остывающие участки пород на тепловизионном снимке отражены красными, желтыми и зелеными тонами) до 1,8 °С (остывшие участки пород соответствуют черным, синим и фиолетовым тонам, что свидетельствует о наличии «погребенного» под покровными отложениями ледника).

Наличие небольших температур дренажных вод на верхних горизонтах подтверждается измерением температуры вод Центрального рудного поля месторождения и вод поверхностных водотоков, выполненным в 1977 г. (см. таблицу).

Из данных таблицы следует, что на верхних горизонтах Центрального рудного поля в 1977 г. наиболее низкая температура дренажных вод наблюдалась на самом верхнем горизонте (2762 м) и составила от 4 до 5 °С, она была примерно одинаковая в течение года. На горизонтах ниже отм. 2762 м (горизонты 2613, 2537 и 2464 м) температура была выше и составила от 5 до 8,5 °С. На средних горизонтах (2390 м) Центрального рудного поля температура дренажных вод составляла от 3 до 6,1 °С в зимние месяцы и от 5,2 до 6,1 °С в летние; на нижних горизонтах (2242, 2167, 2092 и 2015 м) температура вод была выше и составила 6,5–12 °С в зимние месяцы и 6–12 °С в летние.

Таким образом, тепловизионная съемка позволила выявить погребенные ледовые массы в долине ручья Тырнауэ-Су выше горизонта 8, а также активную инфильтрацию и инфлюацию потоков холодных подземных вод от них внутрь массива горных пород.

Выводы

Анализ результатов изучения изменений гидрогеологических условий, водопритоков и температуры вод на месторождении Тырнауэ свидетельствуют о следующем:

- гидрогеологические условия исследуемого района определяются структурными, фациально-литологическими и геоморфологическими его особенностями; район характеризуется в основном наличием трещинной, трещинно-жильной, пластово-трещинной и карстово-трещинной циркуляции подземных вод;
- в пределах рудного поля выделяются следующие виды подземных вод и водоносные зоны: водоносный горизонт пластово-поровых вод рыхлых четвертичных отложений; водоносная карстовая зона карбонатных пород; водоносная зона экзогенной

Температура дренажных вод Центрального рудного поля месторождения и вод поверхностных водотоков в 1977 г.

Наименование горных выработок и водотоков	Среднемесячная температура, °С											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<i>Верхние горизонты</i>												
Рудник «Молибден», горизонт 2	4,9	5,0	4,9	4,8	4,6	4,0	4,2	4,1	4,3	4,5	4,5	4,8
горизонт 4	8,0	7,5	7,0	7,0	6,6	6,5	6,9	5,5	7,0	7,0	6,7	7,0
горизонт 5	7,8	7,6	8,0	7,9	7,1	7,0	7,0	5,5	7,0	7,0	6,8	7,0
горизонт 6	6,2	6,5	6,4	6,6	6,9	7,0	6,3	5,9	5,4	—	—	—
Средняя	6,4	6,3	6,3	5,7	5,6	5,7	5,8	5,4	5,5	5,2	5,9	6,1
<i>Средние горизонты</i>												
Рудник «Молибден», горизонт 7	6,2	6,0	6,0	6,0	6,0	—	—	—	—	—	—	—
горизонт 8	—	—	4,0	4,2	5,3	5,0	5,0	5,0	5,3	3,3	—	—
Средняя	7,5	7,4	6,5	6,5	7,4	7,5	7,5	7,6	8,0	7,4	9,2	9,7
<i>Нижние горизонты</i>												
Рудник «Молибден», горизонт 9	6,7	7,0	7,0	7,0	6,5	8,0	8,0	8,0	7,7	7,0	7,0	7,0
горизонт 10	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,5	7,3	6,5	6,8	7,0	7,5
горизонт 11	8,3	8,4	8,4	8,3	8,2	8,0	8,1	8,5	8,4	8,3	8,4	8,3
горизонт 12	12,0	11,9	12,1	11,9	11,4	11,5	11,5	11,1	10,9	10,8	10,8	10,8
Средняя	9,3	9,4	9,4	9,4	9,2	9,4	9,3	9,3	9,1	9,0	9,0	9,1
<i>Поверхностный сток</i>												
Ручей Тырнауэ-Су	4,0	4,5	3,1	4,6	6,3	7,2	8,0	8,1	7,4	6,7	5,6	4,4
Река Чатбаш-Су	1,0	1,0	1,6	3,7	6,6	8,0	9,2	8,8	6,0	5,0	4,9	1,6
Ручей Большой Мукулан	0,5	0,7	3,9	4,5	6,0	8,7	16,0	16,0	14,0	6,0	5,0	1,0
Ручей Малый Мукулан	5,0	5,5	7,0	8,8	13,5	20,5	20,3	21,0	18,5	14,2	8,0	2,2
Ручей Змейка	0,9	0,8	0,7	2,5	3,2	6,8	7,4	7,0	5,8	4,5	2,2	0,9
Средняя	2,3	2,5	2,9	4,8	7,0	6,6	12,2	12,2	10,1	7,3	5,1	2,0

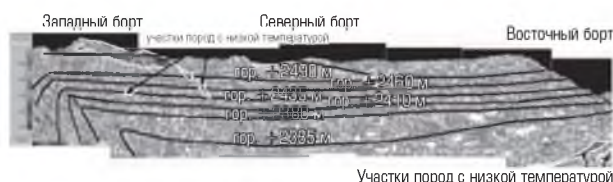


Рис. 4. Панорамный тепловизионный снимок района карьера «Мукуланский»

трещиноватости кристаллических пород; водоносная зона разлома (крупные дизъюнктивные нарушения);

- в водоносной карстовой зоне выделяются три самостоятельных бассейна трещинно-карстовых вод: Центрального рудного поля, мраморов пика Веры и в районе источника Тырнауэ-Су; бассейны разделены между собой скальными трещиноватыми породами и представляют единую систему трещинно-карстовых вод с общим пьезометрическим уровнем и весьма неоднородным фильтрационным полем;
- среднегодовой водоприток в горные выработки подземного рудника «Молибден» изменялся от 122,4 м³/ч в 1965 г. до 629 м³/ч в 1986 г.; в последние годы наблюдений среднегодовой

водоприток составил от 427 м³/ч в 1993 г. до 420 м³/ч в 1997 г.; максимальный приток в горные выработки подземного рудника «Молибден» с 1964 по 1997 г. достиг 957,9 м³/ч (1979 г.);

• по данным наблюдений в октябре – ноябре 2018 г. суммарный водоприток в горные выработки подземного рудника «Молибден» составил 494,3 м³/ч; по данным ОАО «ВИОГЕМ»

в середине сентября 2020 г. суммарный приток подземных вод в горные выработки достиг 571 м³/ч;

• одним из основных источников формирования подземных вод месторождения являются поверхностные водотоки и погребенные ледники, что было подтверждено результатами тепловизионной съемки.

Библиографический список

1. Рыбникова Л. С., Рыбников П. А. Гидрогеологические исследования в горнопромышленных районах на постэксплуатационном этапе // Подземные воды востока России: матер. Всероссийского совещания по подземным водам востока России (XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с междунар. участием). – Новосибирск: Изд-во Новосибирского национального исследовательского государственного ун-та, 2018. С. 403–408.
2. Khaustov V. V., Ustiugov D. L. Formation of drainage waters of Tyrnyauz deposit in ecological aspect // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 87. Iss. 4. 042006. DOI: 10.1088/1755-1315/87/4/042006
3. Граменицкий Е. Н., Кононов О. В. Минеральные ассоциации и типы Мо–W руд слепой залежи Тырныузского месторождения // Геология рудных месторождений. 2019. Т. 61. № 4. С. 72–91.
4. Weihua Wu, Shuyi Qu, Werner Nel, Junfeng Ji. The impact of natural weathering and mining on heavy metal accumulation in the karst areas of the Pearl River Basin, China // Science of The Total Environment. 2020. Vol. 734. 139480. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139480
5. Калов Р. О., Бекаров Г. А. Оценка постэксплуатационного состояния вольфрамомолибденового месторождения и возможности нового его вовлечения в природопользование // Горная промышленность. 2020. № 6. С. 80–83.
6. Граменицкая П. Н., Граменицкий Е. Н., Кононов О. В. Химические типы амфиболов Тырныузского месторождения // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2013. № 4. С. 34–42.
7. Врублевский М. И. Минеральные воды Центрального Кавказа как одно из проявлений его геологического развития. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1962. – 255 с.
8. Аетов А. У., Усманов Р. А., Мазанов С. В., Гумеров Ф. М. Переработка молибденосодержащего водного стока в сверхкритических условиях // Цветные металлы. 2020. № 7. С. 68–73. DOI: 10.17580/tsm.2020.07.09
9. Хаустов В. В., Лушников Е. А. Карст мраморов месторождения Тырныуз // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер. Техника и технологии. 2011. № 1. С. 76–83.
10. Кузеванов К. И., Кузеванов К. К., Дутова Е. М., Покровский В. Д. Гидрогеологические условия Бакхарского 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. Т. 41. № 4(65). С. 22–36.
11. 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. Vol. 33. No. 1. 012046. DOI: 10.1088/1755-1315/33/1/012046
12. Хаустов В. В. Подземные воды и глубинная геодинамика Тырныуза. – Курск: Изд-во Курского государственного технического ун-та, 2009. – 177 с.
13. Хархордин И. Л., Гулин 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. **ГЖ**

«GORNYI ZHURNAL», 2021, № 8, pp. 75–79
DOI: 10.17580/gzh.2021.08.14

Analysis of change in hydrogeological conditions in Tyrnyauz tungsten–molybdenum field

Information about authors

V. V. Khaustov¹, Professor, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, khaustov@bsu.edu.ru

N. A. Lukyanenko¹, Post-Graduate Student

N. B. Agarkov¹, Post-Graduate Student

V. N. Tyupin¹, Professor, Doctor of Engineering Sciences, Professor

¹Institute of Earth Sciences, Belgorod State University Belgorod, Russia

Abstract

Tyrnyauz tungsten–molybdenum deposit is located within the Elbrus volcanic region, on the left bank of the river Baksan. The deposit is associated with a series of granitoids formed during the period of activation of tectonic–magmatic processes at the southern boundary of the Scythian plate in the Meso-Cenozoic, and embedded in carbonate, terrigenous and volcanic rocks of the Devonian, Carboniferous and Jurassic. Groundwater that forms the drainage runoff is mainly fissure or fissure-vein water. In the field, groundwater belongs to an integrated system, within which, subject to the feeding conditions, and to the nature of circulation and chemical composition, two hydrogeological zones are clearly distinguished alongside with a mixing subzone between them. Between 1964 and 1997, the average annual water inflow into the underground openings of Molybdenum Mine varied from 122.4 m³/h in 1965 to 629.0 m³/h in 1986. In recent years of observations, the average annual water inflow ranged from 427.0 m³/h (1993) to 420.0 m³/h (1997). According to the measurements in October–November 2018, the water inflow in Molybdenum Mine was 494.3 m³/h. By the data of VIOGEM, in mid-September 2020, the inflow of groundwater into the mine amounted to 571 m³/h. The temperature of drainage waters in the Central ore field of the deposit, on the upper level of 2767 m during the study period ranged from 4.0 to 5.0 °C. Infrared photography using thermal imager detected hidden glaciers and flows of cold groundwater inside the rock mass.

Keywords: Tyrnyauz field, hydrogeological conditions, groundwater, water inflow, formation factors, drainage circuit design, thermal imaging.

References

1. Rybnikova L. S., Rybnikov P. A. Hydrogeological investigations in mining areas in the post-operational stage. Ground water of Eastern Russia : *Proceedings of All-Russian Conference on Russia's East*

Ground Water (XXII Conference on Ground Water in Siberia and Russian Far East with international participation). Novosibirsk : Izdatelstvo Novosibirskogo natsionalnogo issledovatel'skogo gosudarstvennogo universiteta, 2018. pp. 403–408.

2. Khaustov V. V., Ustiugov D. L. Formation of drainage waters of Tyrnyauz deposit in ecological aspect. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017. Vol. 87, Iss. 4. 042006. DOI: 10.1088/1755-1315/87/4/042006
3. Gramenitskiy E. N., Kononov O. V. Mineral associations and Mo–W ore types of the Slepaya zalezhi' orebody at the Tyrnyauz deposit. *Geology of Ore Deposits*. 2019. Vol. 61, No. 4. pp. 359–380.
4. Weihua Wu, Shuyi Qu, Werner Nel, Junfeng Ji. The impact of natural weathering and mining on heavy metal accumulation in the karst areas of the Pearl River Basin, China. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 734. 139480. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139480
5. Kalov R. O., Bekarov G. A. Assessment of Post-Mining Condition of a Tungsten–Molybdenum Deposit and Possibility of its New Development. *Gornaya Promyshlennost*. 2020. No. 6. pp. 80–83.
6. Gramenitskaya P. N., Gramenitskiy E. N., Kononov O. V. Chemical types of amphiboles from the Tyrnyauz deposit. *Moscow University Geology Bulletin*. 2013. Vol. 68, No. 4. pp. 242–252.
7. Vrublevskiy M. I. Mineral water as an evidence of geological structure of the Central Caucasus. Leningrad : Izdatelstvo LGU, 1962. 255 p.
8. Aetov A. U., Usmanov R. A., Mazanov S. V., Gumerov F. M. Treatment of molybdenum-containing wastewater in supercritical environment. *Tsvetnyye Metally*. 2020. No. 7. pp. 68–73. DOI: 10.17580/tsm.2020.07.09
9. Khaustov V. V., Lushnikov E. A. Karst marble deposit Tyrnyauz. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Tekhnika i tekhnologii*. 2011. No. 1. pp. 76–83.
10. 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 Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh*. 2018. Vol. 41, No. 4(65). pp. 22–36.
11. 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. Vol. 33, No. 1. 012046. DOI: 10.1088/1755-1315/33/1/012046
12. Khaustov V. V. Ground water and deep-level geodynamics in Tyrnyauz. *Kursk : Izdatelstvo Kurskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2009. 177 p.
13. Kharkhordin I. L., Gurin A. N., Nazima V. V., Ivanov I. N. Organization of a system of hydromechanical monitoring on Lomonosov diamond deposit. *Gornyy Zhurnal*. 2012. No. 7. pp. 40–43.