

– creation of permanent hydrogeological models of groundwater flow, pore pressure distribution, flow gradients and transport of pollutants within the framework of conceptual and numerical models of subsoil, mining facilities, terrain, natural environment and anthropogenic activity in the influence zone of mining. The article discusses the working cycles of digitalization of operational and occasional monitoring data on the status of groundwater at the control points and 3D representations of groundwater flow, distribution of pore pressure, pressure gradients and movement of pollutants using constantly operating models to ensure safe and competitive development of flooded mineral deposits in modern conditions. The relevance of the digitalization technologies for hydrogeological processes based on the latest achievements in the field of geoinformatics and automation of hydrogeological work is substantiated.

**Keywords:** mining industry, digitalization, hydrogeological processes, geoinformation technologies, pore pressure, hydraulic gradient, regional groundwater flow models, pit slopes, operational monitoring.

#### References

- Digitalization in mining industry : Information bulletin. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2019. Available at: <http://www.good-climate.com/materials/files/152.pdf> (accessed: 30.04.2020).
- Digital Economy of the Russian Federation. Ministry of Digital Development, Communications and Mass Media of the Russian Federation, 2020. Available at: <https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858/#section-docs> (дата обращения: 14.06.2020).
- Digitalization in mining industry. Industry 4.0. UMMC Technical University, 2019. Available at: <https://tu-ugmk.com/upload/NPF-journal.pdf> (accessed: 14.06.2020).
- Abramov S. K., Skirgello O. B., Cheltsov M. I. Drainage engineering in surface and underground coal mines. Moscow : Gosgortekhnizdat, 1961. 399 p.
- Oksanich I. F., Beresnev V. S., Gordon A. B. et al. Drainage of mineral deposits during iron ore mine construction. Moscow : Nedra, 1977. 285 p.
- Strzodka K., Fischer M., Domann H. Hydrotechnik im Bergbau und Bauwesen. Leipzig, 1975. 392 s.
- Stanchenko I. K. (Ed.). Reference book on dehumidifying of rocks. Moscow : Nedra, 1984, 575 p.
- Norvatov Yu. A. Research and prediction of induced groundwater dynamics. Leningrad : Nedra, 1988. 260 p.
- Read J., Stacey P. Guidelines for Open Pit Slope Design. Collingwood : CSIRO Publishing, 2009. 487 p.
- Beale G., Read J. Guidelines for Evaluating Water in Pit Slope Stability. Collingwood : CSIRO Publishing, 2013. 611 p.
- Martin D., Stacey P. Guidelines for Open Pit Slope Design in Weak Rocks. Leiden : CRC Press/Balkema, 2018. 416 p.
- Kibirev V. I. Analysis of the industrial practice of thickened tailings storage. *Obogashchenie Rud.* 2019. No. 2. pp. 27–32. DOI: 10.17580/or.2019.02.05
- Rivera A. Groundwater modelling: from geology to hydrogeology. 2007. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/229005360> (accessed: 21.06.2020).
- Chmakov S., Hesch W., Tu C., Lima M., Sychev P. Conceptual Model Development for FEFLOW or MODFLOW Models—A New Generation of Schlumberger Water Services Software. 2009. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/228688843\\_Conceptual\\_model\\_development\\_for\\_FEFLOW\\_or\\_MODFLOW\\_models-a\\_new\\_generation\\_of\\_Schlumberger\\_Water\\_Services\\_software](https://www.researchgate.net/publication/228688843_Conceptual_model_development_for_FEFLOW_or_MODFLOW_models-a_new_generation_of_Schlumberger_Water_Services_software) (accessed: 21.06.2020).
- Kitanidis P. K. Introduction to Gostatistics : Applications to Hydrogeology. Cambridge : Cambridge University Press, 1997. 271 p.
- Demyanov V. V., Saveleva E. A. Geostatistics. Theory and practice. Moscow : Nauka, 2010. 327 p.
- Musin R. Kh., Khranchenkov M. G. Introduction of geo-permeation to digital modeling : Educational and teacher edition. Kazan : Izdatelstvo Kazanskogo universiteta, 2019. 41 p.
- Anderson M. P., Woessner W. W., Hunt R. J. Applied Groundwater Modeling: Simulation of Flow and Advective Transport. 2nd ed. London : Academic Press, 2015. 564 p.
- Dassargues A. Hydrogeology: Groundwater Science and Engineering. Boca Raton : CRC Press, 2018. 492 p.
- Volkov Yu. I., Zhdanova T. V. Application of geofiltration modeling when developing open-pits of the Kremenchug magnetic anomaly. *GIAB.* 2015. Special issue 56. Deep open pits. pp. 356–367.
- Shamshev A. A., Kotlov S. N. Improvement of estimation procedure for flow parameters in anisotropic weakly permeable deposits based on flow tests. *GIAB.* 2017. No. 10. pp. 194–204.
- Leonteva E. V., Kvachev V. N. Methods of automation of hydrogeological works at the stages of geological survey, exploration and development of mineral deposits. *Mineral Mining and Underground Construction in Difficult Hydrogeological Conditions : XIV International Conference Proceedings.* Belgorod, 2019. pp. 48–53.
- Cheskidov V. V., Lipina A. V., Melnichenko I. A. Integrated monitoring of engineering structures in mining. *Eurasian Mining.* 2018. No. 2. pp. 18–21. DOI: 10.17580/em.2018.02.05
- Kvachev V. N., Kvacheva E. V., Sergeev S. V. Methodology and technology of automation in three-dimensional modeling of geo-permeation in solving of geo-ecological problems. *Modeling in Geocology (Sergeev's Lectures) : Proceedings of Annual Session of the Science Board for Geocology, Engineering Geology and Hydrogeology at the Russian Academy of Sciences.* Moscow : GEOS, 2009. Iss. 11. pp. 114–118.

УДК 556.3:622

## О ДРЕНАЖНЫХ ВОДАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТЫРНЫАУЗ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ И ПОСТЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТАДИЯХ

**В. В. ХАУСТОВ**, проф., д-р геол.-минерал. наук, [khaustov@bsu.edu.ru](mailto:khaustov@bsu.edu.ru)  
**В. Н. ТЮПИН**, проф., д-р техн. наук  
**Н. Б. АГАРКОВ**, аспирант

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

### Введение

Актуальность изучения процессов формирования дренажного стока рудных месторождений не нуждается в дополнительных доказательствах, прежде всего в связи с серьезными экологическими проблемами, возникающими в горнодобывающих районах. При этом значимость подобных исследований существенно возрастает для коренных месторождений сульфидных руд, расположенных в условиях сильно расчлененного рельефа на высокогорье, где резко увеличивается площадь техногенных потоков рассеяния характерных поллютантов [1–3].

Выявлены факторы формирования состава дренажных вод как на эксплуатационном, так и на постэксплуатационном этапе освоения высокогорного Тырнаузского месторождения вольфрам-молибденовых руд.

Показана высокая экологическая опасность их сброса в гидрографическую сеть. Обоснована острая необходимость разработки и осуществления технических мероприятий по их локализации и очистке.

**Ключевые слова:** Тырнаузское месторождение, подземные воды, дренажный сток, факторы формирования, поверхностные воды, загрязнение, поллютанты.

DOI: 10.17580/gzh.2020.10.12

### Объект исследований

Тырнаузское месторождение вольфрама и молибдена скарнового типа расположено в пределах Эльбрусского вулканического района в левобережье р. Баксан. Оно связано с комплексом гранитоидов, образовавшихся в период активизации

тектоно-магматических процессов на южной границе Скифской эпигерцинской активизированной плиты в мезокайнозое и внедренных в карбонатные, терригенные и вулканогенные породы девона, карбона и юры (рис. 1).

Основная масса рудоносных скарнов приурочена к зоне контакта роговиков и мраморов, которые, повторяя складчатую структуру, образуют мощный раздвиг в ее сводовой части. Непосредственно зона оруденения в рудном поле превышает 1 км по вертикали, где имеются также рудопроявления золота, мышьяка, сурьмы, меди, свинца, цинка, серебра [4].

Разработка Тырнаузского вольфрам-молибденового месторождения начата в 1940 г. С этого времени и до 1970 г. отработку вели исключительно подземным способом (рудник «Молибден»). Впоследствии были открыты карьеры «Мукуланский» и затем «Высотный». В целом Тырнаузское месторождение обрабатывали подземным и открытым способами в течение пяти десятилетий вплоть до 2000 г., обеспечивая 20 % мирового производства вольфрамовых концентратов при попутном извлечении Cu, Bi, Au, Ag. В настоящее время добыча и переработка руд на месторождении приостановлена по экономическим причинам. Дальнейшие перспективы освоения еще не исчерпанных минеральных ресурсов Тырнауза связываются с необходимостью использования эффективных технологий добычи и обогащения руд с извлечением вместе с молибденом и вольфрамом благородных, редких и цветных металлов, а также нерудных минералов.

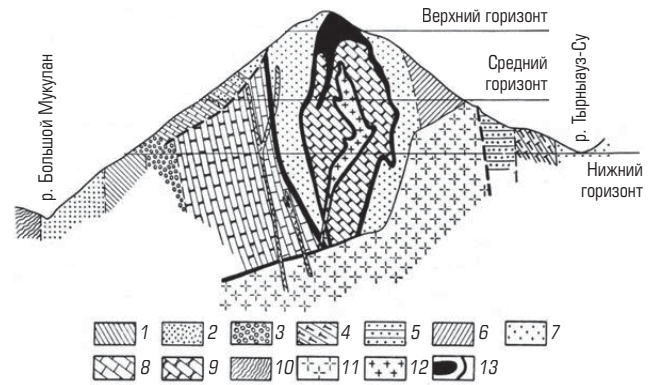
Однако и не разрабатываемое в настоящее время Тырнаузское вольфрам-молибденовое месторождение продолжает оказывать значительное негативное влияние на природные комплексы прилегающего района [4–7]. В ряду разнообразных факторов воздействия на природную среду заметное место занимает дренажный сток, а особенности гипсометрического положения месторождения обуславливают активное поступление его в местную гидрографическую сеть. По-прежнему рудогенные элементы с другими тяжелыми металлами и другими поллютантами мигрируют в главной водной артерии района р. Баксан на значительные расстояния.

### Обсуждение результатов исследований

Подземные воды, обводняющие горные выработки рудника «Молибден» и формирующие дренажный сток, относятся преимущественно к трещинному и (или) трещинно-жильному типу. На месторождении 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 [8].

Воды преимущественно инфильтрационного генезиса относятся к верхней гидрогеологической зоне. Их режим, соответственно, тесно связан с поверхностными процессами (ходом атмосферных осадков, температурой и др.). Для подземных вод этого типа характерны низкая минерализация (до 0,4 г/л) и преимущественно гидрокарбонатно-кальциевый состав.

Нижнюю гидрогеологическую зону представляют напорные углекислые воды с повышенной минерализацией. Подземные воды этого типа вскрывали на месторождении Тырнауз горными



**Рис. 1. Геологический разрез-схема рудного поля Тырнауза [4]:**

- 1 – черные сланцы; 2 – песчаники; 3 – конгломераты;
- 4 – вулканогенные породы; 5 – аркозовые песчаники;
- 6 – кварцевые плагиопорфиры; 7 – биотитовые роговики;
- 8 – слоистые мраморы; 9 – массивные мраморы;
- 10 – мигматиты; 11 – зльджуртинские граниты;
- 12 – лейкократовые гранитоиды; 13 – скарны



**Рис. 2. Вклад подземных вод нижней и верхней гидрогеологических зон в общее обводнение рудника «Молибден»**

выработками на протяжении последних десятилетий эксплуатации, причем приток их постоянно возрастал с развитием фронта горных работ. К 2000 г. их приток составил порядка половины всего объема дренажных вод (рис. 2).

Водопроявления нижней гидрогеологической зоны отличаются высокой газонасыщенностью (как правило, выше 500 мл/л) и углекислым или углекисло-азотным составом газа. Соотношение растворенных газов составляет, % (об.): 55–90 CO<sub>2</sub>, 1–39 N<sub>2</sub>, 13–43 H<sub>2</sub>, 0,1–1,2 CH<sub>4</sub>. Воды нижней гидрогеохимической зоны характеризуются гидрокарбонатно-хлоридным, реже – хлоридно-гидрокарбонатным анионным составом, среди катионов доминирует натрий. Минерализация их варьирует в интервале 2–12 г/л, отмечается обогащение их микрокомпонентами – K, Li, Rb, Cs, F, V, I, As и др. Общей отличительной особенностью большинства углекислых вод Эльбрусского вулканического района, в том числе и месторождения Тырнауз, является повышенное относительное и абсолютное содержание хлор-иона. Трещинно-жильные воды глубокой циркуляции вскрыты в основном разведочными штольнями Северного фланга, в пределах центрального рудного поля имеются их единичные водопроявления.

К 2000 г. общий водоприток в систему горных выработок месторождения составлял около 1500 м<sup>3</sup>/ч (рис. 3).

Основная обводненность на месторождении связывается с массивами закарстованных мраморов, так как интрузивные, метаморфизованные и вулканогенно-осадочные породы (даже при условии интенсивной трещиноватости) представляют менее благоприятную среду для накопления запасов подземных вод. По данным геолого-разведочной экспедиции Тырныаузского вольфрам-молибденового комбината (ТВМК), статические запасы трещинно-карстовых вод мраморов рудного поля сработаны в основном уже к 1983 г., чем и можно объяснить относительную стабилизацию среднегодовых объемов поступающих в горные выработки подземных вод [9, 10]. Небольшой прирост среднегодовых объемов дренажных вод, очевидно, объясняется увеличением притоков подземных вод нижней гидрогеохимической зоны.

Формирование химического состава дренажных вод осуществляется за счет природных и техногенных факторов и процессов (рис. 4), что находит свое подтверждение в результатах математической обработки исходных гидрогеохимических материалов (корреляционный, факторный, кластерный и дискриминантный анализ).

Так как объемы дренажных вод формируются в основном за счет подземных вод верхней и нижней гидрогеохимических зон, то «изначальный» их химический состав определяется процессом смешения.

При циркуляции дренажных вод по системе дренажных каналов в горных выработках до выхода на земную поверхность происходит следующее изменение их химического состава.

**Обогащение дренажных вод рудогенными металлами.** В процессе различных технологических операций (проходка горных выработок, выпуск и погрузка руды, откатка и др.) происходит рассеяние по горным выработкам больших объемов рудной мелочи, составляющей одну из основных статей общих потерь полезного ископаемого. Рудная мелочь вследствие раздробленности и дисперсности имеет большую удельную поверхность, и поэтому активно окисляется. Рудогенные металлы при этом переходят в подвижные соединения и вовлекаются в водную миграцию.

**Поступление в воды соединений группы азота, присутствие которых является показателем интенсивности загрязнения природных вод.** Источником поступления в дренажные воды азотных соединений служит аммиачная селитра как основа взрывчатых веществ, используемых при ведении горных работ. Так, при взрывных работах в карьерах при проведении «минного» взрыва количество одновременно используемых взрывчатых веществ может достигать десятков, иногда сотен тонн; на руднике – первые тонны ежесуточно. В пределах центрального рудного поля подземные воды по системам трещин, горным выработкам и перепускным скважинам перетекают с верхних горизонтов на нижние. Следовательно, наиболее информативным в контексте загрязнения дренажных вод ионами группы азота является самый нижний горизонт (главный откаточный) месторождения – абс. отм. 2015 м. Наибольшее нитратное загрязнение характерно для вод, циркулирующих в пределах слепых стволов – Капитального и Северо-Западного, т. е. на участках максимальной дренированности горных пород рудного поля.

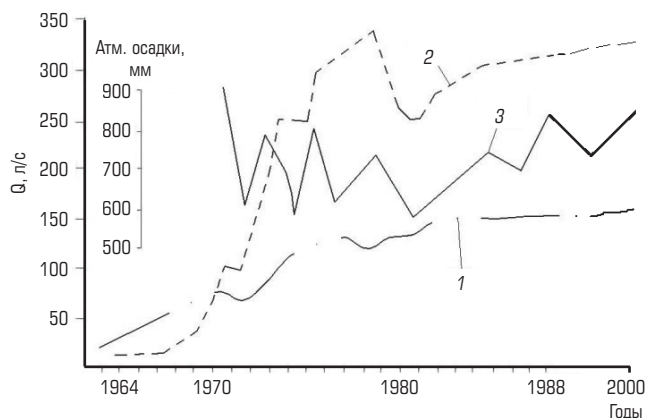


Рис. 3. Суммарный водоприток в горные выработки рудника (1), Северного разведочного участка (2) и количество атмосферных осадков (3)

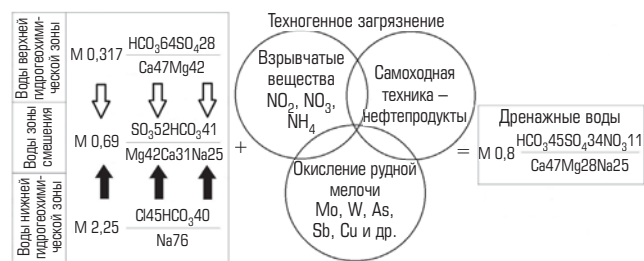


Рис. 4. Формирование химического состава дренажных вод

**Поступление в дренажные воды значительных концентраций нефтепродуктов.** В последние десятилетия на руднике при погрузочно-доставочных работах активно внедряли и широко применяли самоходную технику, вытесняющую электровозную откатку как менее эффективную. Однако работа самоходной техники требует значительного количества горючесмазочных материалов, и поэтому является источником загрязнения дренажных вод нефтепродуктами.

**Бактериальное загрязнение,** возникающее в результате постоянного нахождения в горном цехе ТВМК немалого числа рабочих и отсутствия сооружений санитарно-гигиенического назначения.

В итоге дренажные воды сбрасываются в поверхностные водотоки района месторождения (р. Камук, балки Чильмиан, Малый и Большой Мукулан) со следующим средним химическим составом, мг/л: взвешенные вещества – 500; минерализация – более 500; 38 хлора; 115 сульфат-иона; 4,2 БПК<sub>3</sub>; 5,7 нефтепродуктов; 95 нитратов; 6,8 нитритов; 0,3 вольфрама; 0,7 молибдена; 0,3 мышьяка; 0,01 цинка; 0,04 меди; 0,08 свинца.

Сопоставление данных о максимальных содержаниях микрокомпонентов в дренажных и углекислых водах Тырныауза с аналогичной информацией, приведенной авторами [10] по другим объектам, позволяет констатировать, что в водах Тырныаузского месторождения концентрации некоторых микроэлементов превышают известные ранее максимумы в несколько раз. В первую очередь это относится к рудогенным металлам. Так, концентрация

**Сопоставление максимальных содержаний некоторых химических элементов в различных водах (по [10]) и подземных водах Тырныаузского месторождения, мг/л**

Элемент	Попутные воды слабощелочные			Подземные воды глубоких горизонтов					Воды зоны гипергенеза (средний состав)	ПДК водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, мг/л
	А. Рудные месторождения	Б. Месторождение Тырныауз	Б/А	В. Углекислые минеральные	Г. Углекислые воды Тырныауза	Д. Термы областей современного вулканизма	Г/В	Г/Д		
As	0,2	0,6	3	150	0,25	80	0,001	0,008	0,002	0,05
Cu	1,1	0,04	0,036	0,65	10,002	51	15,38	0,196	0,006	1
W	0,5	0,5	1	0,017	0,2	0,072	11,76	2,777	–	0,05
Mo	0,07	1,7	24,28	0,061	0,5	0,08	8,19	6,25	0,002	0,25
Mn	1,4	0,02	0,014	44,3	0,138	30	0,003	0,004	0,049	0,1
Ni	0,24	0,005	0,03	0,005	0,005	0,1	1	0,05	0,003	0,02
Pb	0,2	0,08	0,4	1,8	10,005	32	5,55	0,31	0,002	0,01
Sb	0,025	0,01	0,4	–	0,031	0,7	–	0,045	0,005	0,05
Sn	–	0,019	–	–	0,122	0,036	–	0,38	0,00041	–
Zn	1,5	0,01	0,006	0,93	27	150	29,03	0,16	1	1
Br	44	1,2	0,027	66	6,3	7,8	0,095	0,8	0,193	0,2
B	5	0,83	0,166	1200	1246	110	1,038	11,32	0,042	0,5
F	1500	2,8	0,001	8,1	4,3	50,4	0,53	0,085	0,45	1,50
I	4,3	2	0,46	13,4	8,8	2,4	0,65	3,66	0,016	0,125
Li	18,6	1,4	0,075	100,8	280	2,2	2,77	22,95	0,014	0,03
Rb	6,6	0,5	0,075	10	1,9	2,100	0,19	0,904	0,002	0,1
Cs	–	0,6	–	3,3	2,2	1,8	0,66	1,22	0,00028	–

молибдена в попутных слабощелочных водах превышена в 24 раза, в углекислых – от 5 до 8 раз по сравнению с углекислыми термами областей современного вулканизма (см. таблицу).

После прекращения эксплуатации месторождения в 2000 г., главным образом по экономическим причинам, был приостановлен мониторинг воздействия различных объектов ТВМК на окружающую среду. Осуществляются государственный мониторинг качества воды и оценка загрязнения р. Баксан только лишь по четырем створам, а состав притоков не контролируется, хотя некоторые из них вносят значительный негативный вклад в формирование состава вод р. Баксан [11].

Остановка горного производства приводит, как правило, к изменениям технологических операций на постэксплуатационном этапе, что не позволяет исключить опасность дальнейшего ухудшения качества дренажных вод и поступления их в окружающую природную среду. Действительно, суммарный объем всех сточных вод ТВМК существенно снизился: с 14906 тыс. м<sup>3</sup> в 1993 г. до 45 тыс. м<sup>3</sup> в 2005 г. При этом сток дренажных вод не уменьшился.

Отрывочные сведения, как правило, бессистемных геоэкологических исследований в районе свидетельствуют о продолжающемся процессе загрязнения р. Баксан, в том числе и дренажными водами рудника «Молибден». Так, в воде р. Камук (основной путь стока дренажных вод) имеются повышенные содержания: Li – в 5 раз; Rb – в 2,5 раза; Si, Co, Cd и U – в 2 раза; Sb – в 40 раз; Sc – в 4,7 раза; Mo – в 307 раз; Cs – в 30 раз [12]. По данным авторов [13], в дренажных водах Тырныаузского месторождения на постэксплуатационном этапе среднее содержание Mo находится в пределах 700 мкг/л.

### Выводы

Таким образом, результаты анализа условий формирования химического состава и современного состояния дренажных вод Тырныаузского вольфрам-молибденового месторождения свидетельствуют о том, что:

- остановка горного производства и консервация горных выработок с возможными в связи с этим изменениями технологических операций не позволяют исключить опасность дальнейшего ухудшения качества дренажных вод и поступления их в окружающую природную среду;
- дренажные воды существенно отличаются по своему химическому составу от фоновых подземных вод месторождения; эти отличия связаны прежде всего с повышенными концентрациями тяжелых металлов, соединений азота, нефтепродуктов, показателя бактериального загрязнения (БПК<sub>3</sub>), что превращает их в объект повышенной экологической опасности;
- гипсометрическая обусловленность неизбежности сброса дренажных вод в поверхностные водотоки района рудного поля Тырныауза приводит к загрязнению последних и далее главной водной артерии – р. Баксан; скорость и масштабы распространения загрязнения в условиях горного рельефа и при соответствующем гидрологическом режиме весьма значительные;
- в связи с загрязнением бассейна р. Баксан, оказывающим резкое негативное влияние на эффективность освоения и развития рекреационных ресурсов региона, следует безотлагательно решать вопросы очистки дренажных вод месторождения Тырныауз.

По имеющейся информации, госкорпорация «Ростех» приступила к проектированию и строительству предприятия по переработке вольфрам-молибденовых руд в г. Тырныауз



(Кабардино-Балкария). Рассматривается строительство подземного рудника, обогатительной фабрики, гидрометаллургического завода. В связи с этим очевидно, что только крупные инвестиции в возрождение Тырнаузского вольфрам-молибденового

комбината позволяют надеяться на возобновление геоэкологических исследований в широком спектре, так необходимых для уникального в рекреационном отношении кластера Баксанского ущелья и Приэльбрусья.

#### Библиографический список

1. 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
2. Yue Liu, Qinglin Xia, Carranza E. J. M. Integrating sequential indicator simulation and singularity analysis to analyze uncertainty of geochemical anomaly for exploration targeting of tungsten polymetallic mineralization, Nanling belt, South China // *Journal of Geochemical Exploration*. 2019. Vol. 197. P. 143–158.
3. Wenjing Liu, Wenjing Liu, Zhifang Xu, Tong Zhao, Hao Jiang et al. Water geochemistry of the Qiantangjiang River, East China: Chemical weathering and CO<sub>2</sub> consumption in a basin affected by severe acid deposition // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2016. Vol. 127. P. 246–256.
4. Пэж А. В. Геологическое строение рудного поля и месторождения Тырнауз. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 168 с.
5. 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
6. Хаустов В. В. Об экологической стороне процессов разработки полиметаллического месторождения Тырнауз. Ч. 1. Пылевые выбросы // *Известия Юго-Западного государственного университета. Сер. Техника и технологии*. 2016. № 2(19). С. 52–62.
7. Хаустов В. В. Об экологической стороне процессов разработки полиметаллического месторождения Тырнауз. Ч. 2. Твердый и жидкий сток // *Известия Юго-Западного государственного университета. Сер. Техника и технологии*. 2016. № 3(20). С. 68–79.
8. Врублевский М. И. Минеральные воды Центрального Кавказа как одно из проявлений его геологического развития. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1962. – 255 с.
9. Khaustov V. V., Ignatenko I. M., Kruglova L. E., Karnjushkin A. I., Shleenko A. V. Carst Marble on Tyrnauz Deposit // *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019. Vol. 8. Iss. 6S2. P. 1103–1106.
10. Куликов Г. В., Рохлин Л. И., Рубейкин В. З. Вопросы комплексного использования шахтных вод // *Известия вузов. Геология и разведка*. 1984. № 3. С. 73–78.
11. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды в Кабардино-Балкарской Республике в 2016 году. – Нальчик: ИТ «Принт Центр», 2017. – 260 с.
12. Бортников Н. С., Богатиков О. А., Карамурзов Б. С., Гурбанов А. Г., Шаззо Ю. К. и др. Утилизация хранилищ промышленных отходов обогатительной фабрики Тырнаузского вольфрам-молибденового комбината – одно из необходимых мероприятий для решения экологических проблем в Приэльбрусье (Кабардино-Балкарская республика) // *Вестник Владикавказского научного центра*. 2014. Т. 14. № 1. С. 35–43.
13. Дреева Ф. Р., Реутова Н. В., Реутова Т. В. Оценка загрязненности реки Баксан (Центральный Кавказ) и ее притоков микроэлементами // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2019. № 5(91). С. 38–46. **ПК**

«GORNYI ZHURNAL», 2020, № 10, pp. 100–104  
DOI: 10.17580/gzh.2020.10.12

#### Drain water of Tyrnauz deposit during and after operation

##### Information about authors

V. V. Khaustov<sup>1</sup>, Professor, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, khaustov@bsu.edu.ru

V. N. Tyupin<sup>1</sup>, Professor, Doctor of Engineering Sciences

N. B. Agarkov<sup>1</sup>, Post-Graduate Student

<sup>1</sup>Belgorod State University, Belgorod, Russia

##### Abstract

High-mountain Tyrnauz deposit of tungsten–molybdenum ore is unique in many respects, including its complicated hypsometry. The latter governs watering of the deposit and large-scale migration of manmade substances in gravity, air and water flows. Different genesis groundwater enters underground openings in Molibden mine. The first kind groundwater is water of infiltration from the upper lying hydrogeological zone; this water features low mineralization (to 0.4 g/l) and mostly hydrocarbonate–calcium composition. The second kind is groundwater from the lower lying hydrogeological zone; this water features high gas content (as a rule, more than 500 ml/l) and carbon dioxide or carbon dioxide–nitrogen composition. Such water contains hydrocarbonate–chloride or seldom chloride–hydrocarbonate anions; cations are mostly sodium; mineralization varies in the range of 2–12 g/l. The major factors to govern chemical composition of drain water at the stage of mine operation are mixing of groundwater of the indicated genetic types, oxidation of fine ore, presence of oil products from operating self-propelling machines, as well as nitrogen compounds due to use of explosives in production processes. As a result, drain effluents have out-of-limit concentrations of ore parent metals, oil products and nitrogen compounds. Such effluents were discharged untreated to local hydrogeographic network. At the post-operation stage, drain water remains one of the key pollutant factors to the environment; it also contains out-of-limit concentrations of heavy metals though much lower concentrations of oil products and nitrogen compounds. The aim of this study is to reveal the governing factors of drain water composition during and after mineral mining, to demonstrate the high ecological risk due to such drain water discharge to hydrogeographic network and, thereby, to prove the critical need of drain water localization and treatment using advanced techniques.

**Keywords:** Tyrnauz deposit, groundwater, drain water, governing factors, surface water, pollution, pollutant.

##### References

1. 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
2. Yue Liu, Qinglin Xia, Carranza E. J. M. Integrating sequential indicator simulation and singularity analysis to analyze uncertainty of geochemical anomaly for exploration targeting of tungsten polymetallic mineralization, Nanling belt, South China. *Journal of Geochemical Exploration*. 2019. Vol. 197. pp. 143–158.
3. Wenjing Liu, Wenjing Liu, Zhifang Xu, Tong Zhao, Hao Jiang et al. Water geochemistry of the Qiantangjiang River, East China: Chemical weathering and CO<sub>2</sub> consumption in a basin affected by severe acid deposition. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2016. Vol. 127. pp. 246–256.
4. Pek A. V. Geological structure of Tyrnauz field and ore body. Moscow: Izdatelstvo AN SSSR, 1962. 168 p.
5. Aetov A. U., Usmanov R. A., Mазanov S. V., Gumerov F. M. Treatment of molybdenum-containing wastewater in supercritical environment. *Tsvetnye Metally*. 2020. No. 7. pp. 68–73. DOI: 10.17580/tsm.2020.07.09
6. Khaustov V.V. About environmental side of development of the polymetallic deposit Tyrnauz. Part 1. Dust emissions. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Tekhnika i tekhnologii*. 2016. No. 2(19). pp. 52–62.
7. Khaustov V.V. About environmental side of development of the polymetallic deposit Tyrnauz. Part 2. Solid and liquid effluents. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Tekhnika i tekhnologii*. 2016. No. 3(20). pp. 68–79.
8. Vrublevskiy M. I. Mineral water as an evidence of geological structure of the Central Caucasus. Leningrad: Izdatelstvo LGU, 1962. 255 p.
9. Khaustov V. V., Ignatenko I. M., Kruglova L. E., Karnjushkin A. I., Shleenko A. V. Carst Marble on Tyrnauz Deposit. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019. Vol. 8, Iss. 6S2. pp. 1103–1106.
10. Kulikov G. V., Rokhlin L. I., Rubeykin V. Z. Integrated use of mine water. *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*. 1984. No. 3. pp. 73–78.
11. Water condition and environmental protection in the Kabardino-Balkarian Republic: 2016 report. Nalchik: IT "Print Tsentr", 2017. 260 p.
12. Bortnikov N. S., Bogatikov O. A., Karamurзов B. S., Gurbanov A. G., Shazzo Yu. K. et al. The industrial waste repository utilization of the concentrating factory of the Tyrnauz tungsten–molybdenum mining complex – one of the necessary measure for decision of ecological problems at the Prielbrusje (Kabarдино-Balkar republic). *Vestnik Bladikavkazskogo nauchnogo tsentra*. 2014. Vol. 14, No. 1. pp. 35–43.
13. Dreeva F. R., Reutova N. V., Reutova T. V. Assessment of heavy metals pollution of Baksan river (Central Caucasus) and its tributaries. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2019. No. 5(91). pp. 38–46.