

УДК 622.7.017

**ЗАТОПЛЕНИЕ ШАХТ И РАЗРЕЗОВ ЧЕЛЯБИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА:
ПОСЛЕДСТВИЯ, ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ**

Л. С. Рыбникова, П. А. Рыбников, А. Ю. Смирнов

Институт горного дела УрО РАН,

E-mail: luserib@mail.ru, ул. Мамина Сибиряка, 58, 620075, г. Екатеринбург, Россия

Приведены результаты анализа современной гидрогеологической ситуации и прогноз ее развития в пределах Челябинского угольного бассейна на постэксплуатационном этапе. Рассмотрены техногенные объекты в районе шахты “Красная горнячка”, разреза Копейский и Коркинский и определены основные проблемы, возникающие при затоплении. Приведены горно-гидрологические прогнозы и план мероприятий, исключающие подтопление данных территорий.

Гидрогеологические условия, геоэкологические проблемы, водоотлив, дренаж, затопление, подтопление, угольные месторождения, оползень, утечки, водонесущие коммуникации

DOI: 10.15372/FTPRPI20230317

Завершение отработки месторождений полезных ископаемых приводит к необходимости поиска новых методов управления территориями, нарушенными горными работами [1–5]. Закрытие горнодобывающих объектов, имеющих длительную историю отработки, является причиной формирования сложной экологической обстановки [6–9], которая определяется несколькими факторами.

Во-первых, в процессе шахтного водоотлива изменяются баланс и структура потоков поверхностных и подземных вод, формирование качественного состава гидросферы происходит с привлечением новых агентов [10, 11].

Во-вторых, при отработке, как правило, используются схемы с обрушением кровли выработанного пространства, что провоцирует развитие геомеханических процессов и образование зон обрушения и сдвижения земной поверхности [12, 13]. С окончанием эксплуатации рудника наблюдается прекращение водоотлива и постепенное заполнение воронки депрессии, приводящее к подтоплению территории и выходу шахтных вод на поверхность [14, 15]. Затопление карьеров сопровождается оползневыми процессами при наличии неустойчивых пород в бортах карьеров.

Разделы статьи, связанные с методикой геофильтрационного моделирования, выполнены в рамках государственного задания ИГД УрО РАН № 075-00412-22 ПР. Тема 2 (2022 – 2024 гг.) “Разработка геоинформационных технологий оценки защищенности горнопромышленных территорий и прогноза развития негативных процессов в недропользовании” (FUWE-2022-0002) г. р. № 123012300006-0 и за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-20140, <https://rscf.ru/project/22-27-20140>.

Учитывая, что зачастую селитебная и промышленная застройка исторически располагается в непосредственной близости от рудников (иногда даже в пределах горного отвода), гидрогеологические проблемы старопромышленных районов на постэксплуатационном этапе становятся очень острыми. При этом во многих случаях трудно определить, какие именно факторы — природные (особенности геологического строения, геоморфологические условия, водность периода) или техногенные (прекращение водоотлива) приводят к подтоплению территории, особенно на тех участках, которые находятся на значительном расстоянии от объектов завершённой отработки.

Цель настоящей работы — анализ эколого-гидрогеологической ситуации в пределах Челябинского угольного бассейна, сформировавшейся после отработки шахт и разрезов и прекращения водоотлива, а также обоснование мероприятий по снижению негативного влияния на окружающую среду.

ЧЕЛЯБИНСКИЙ БУРОУГОЛЬНЫЙ БАССЕЙН

Челябинский бурогольный бассейн находится на восточном склоне Урала, занимая площадь 1300 км². Максимальная ширина угленосной структуры 14 км, глубина до 4 км [16].

Район относится к Иртышскому бассейновому округу. Особенностью гидрографии является чрезвычайно редкая речная сеть и обилие бессточных озерных котловин площадью от долей гектара до нескольких десятков квадратных километров (рис. 1).

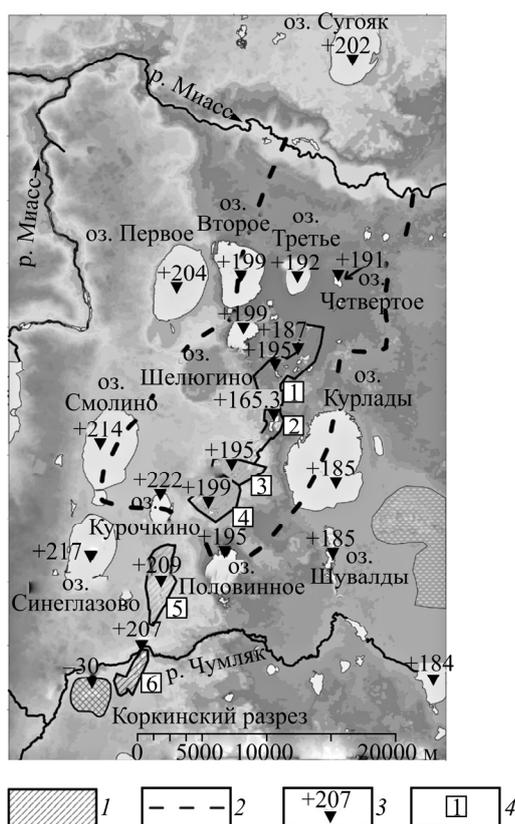


Рис. 1. Схема расположения шахтных полей и гидрографическая сеть района: 1 — горный отвод; 2 — граница водосборной площади шахт северной части Челябинского угольного бассейна (граница геофильтрационной модели); 3 — отметка уровня воды в водоемах; 4 — шахтные поля (1 — “Красная горнячка”; 2 — “Центральная”; 3 — “Капитальная”; 4 — “Комсомольская”; 5 — “Октябрьская”; 6 — “Калачевская”)

По северной окраине бассейна протекает р. Миасс (среднегодовой расход $18 \text{ м}^3/\text{с}$). Остальные реки имеют непостоянный сток и теряются при впадении в заболоченные озерные котловины. Рельеф района представляет собой слабо всхолмленную лесостепную равнину, граничащую на западе с пенеплом восточного склона Урала и плавно понижающуюся в направлении региональных дрен, имеет мелкобугристый котловинный характер.

До 2006 г. разработка месторождений велась ОАО “Челябинскуголь”. После его ликвидации имущественный комплекс предприятия был выкуплен ОАО “Челябинская угольная компания”. Запасы угля на конец XX столетия составляли 523 млн т.

ГОРНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ И МЕРОПРИЯТИЯ, ИСКЛЮЧАЮЩИЕ ПОДТОПЛЕНИЕ

Водоотлив из шахты “Красная горнячка” прекращен в июле 2003 г. Для предотвращения подтопления территории в 2004–2008 гг. в соответствии с проектом рекультивации была построена система дренажных канав, по которым вода поступает с затопленных участков в водоем карьера пласта VIII-2.3 (самую низкую часть горного отвода) и оттуда перекачивается в оз. Третье (рис. 2).

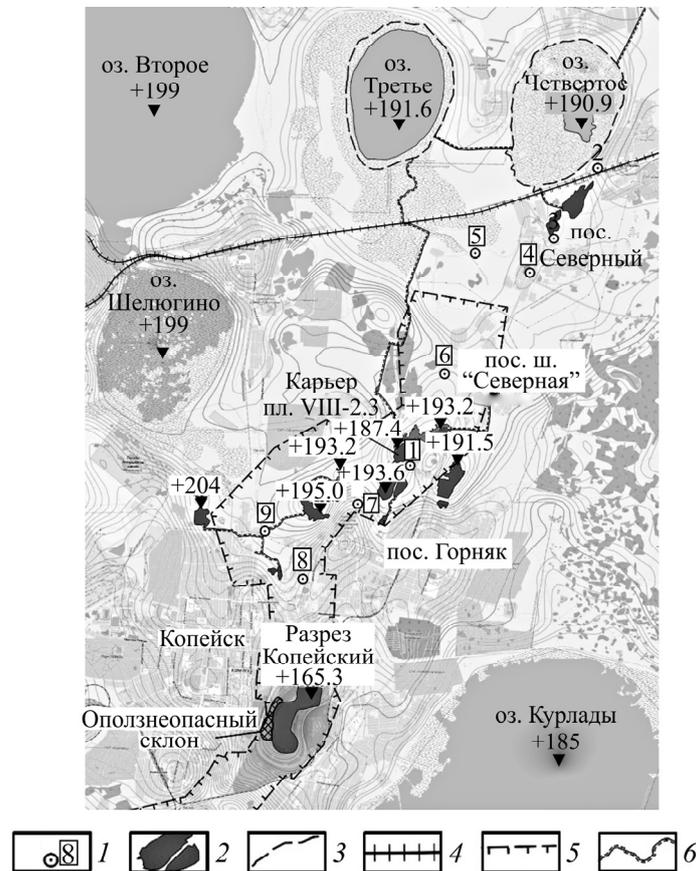


Рис. 2. Ситуационная схема и размещение техногенных объектов в районе ш. “Красная горнячка”: 1 — номер наблюдательной скважины; 2 — затопленные карьеры и провалы; 3 — контур озер на 2003 г.; 4 — железная дорога; 5 — граница горного отвода; 6 — дренажные канавы

На центральном и южном участках горного отвода процесс заполнения депрессионной воронки практически завершился (рис. 3). Глубина залегания уровня подземных вод варьируется от 1.7 до 12.7 м. Установившееся значение уровня воды в затопленных провалах и карьерах составляет 192.2–195.1 м.

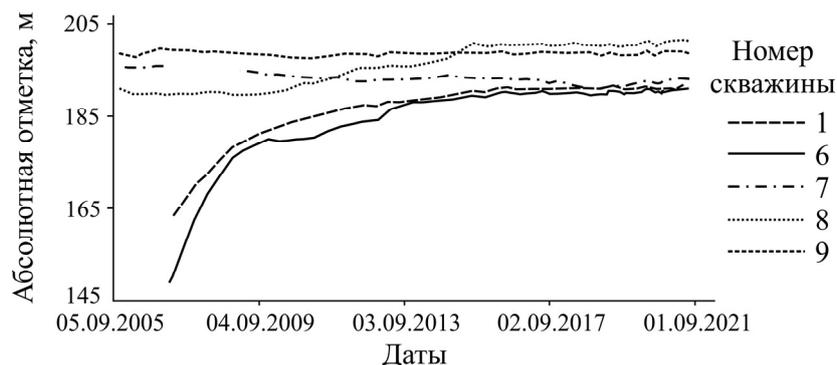


Рис. 3. Изменение уровней воды в скважинах центральной (1, 6) и южной (7, 8, 9) части шахтного поля “Красная горнячка”

За период после остановки шахтного водоотлива количество и площадь заболоченных участков, формирующихся в естественных понижениях рельефа, не изменялись. Для предотвращения подтопления поселков в период снеготаяния и обильных осадков необходимо осуществлять откачку талых и дождевых вод из пониженных участков.

Разрез Копейский затопливается с 2004 г., водоотлив из шахты “Центральная” прекращен в 2006 г. На западном борту разреза находится промплощадка Копейского машиностроительного завода и селитебная территория г. Копейска (рис. 4). На данном участке произошло несколько оползней, самый крупный — в 2015 г., после схода которого дневная поверхность вблизи территории Копейского машиностроительного завода просела на 15 м. Весной 2019 г. откос оползневого участка был укреплен отсыпкой грунта. В настоящее время Уральский филиал ВНИМИ осуществляет геомеханический мониторинг данной территории, подвижки грунтовых реперов отсутствуют.

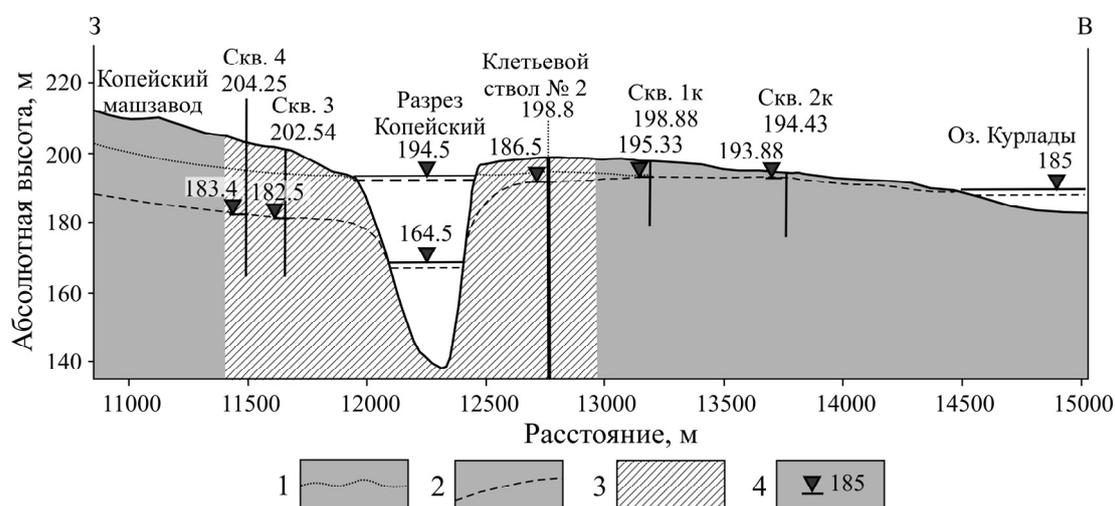


Рис. 4. Схематический разрез по линии Копейский машзавод — разрез Копейский — оз. Курлады: 1 — прогнозный уровень подземных вод; 2 — уровень подземных вод; 3 — горный отвод ш. “Центральная”; 4 — абсолютная отметка уровня воды

Подъем уровня воды в разрезе происходит значительно медленнее, чем на прибортовой полосе и в стволе шахты “Центральная”, вследствие постоянного увеличения площади водного зеркала в формирующемся водоеме и за счет испарения, объем которого превышает в водном балансе выпадающие осадки.

Для оценки скорости затопления разреза Копейский разработана геофильтрационная модель. Границы модели определялись в соответствии с положением естественных водотоков и водоемов: оз. Смолино на западе, оз. Курлады на востоке, р. Миасс на севере. Количество блоков 700 по оси X , 500 по оси Y , размер блока 50×50 м. Площадь модели 440 км^2 . Численное фильтрационное моделирование выполнялось в программной среде Processing ModFlow 8 [17].

Верхний пласт двухпластовой модели приурочен к наносам (эоцен-верхнемеловой водоносный горизонт), нижний — к триас-юрским отложениям. Мощность первого пласта 50 м, второго — 100 м. Коэффициенты фильтрации изменяются для верхнего пласта от 0.2 до 1 м/сут; для нижнего — от 0.05 до 0.15 м/сут. Для корректного задания гипсометрии поверхности водоносных горизонтов использовалась цифровая модель рельефа. Модуль подземного стока принят 1.25 л/с с одного квадратного километра [18].

Модель откалибрована по периоду отработки на момент стабильных шахтных водопритоков (решение в стационарной постановке). Для калибрации емкостных параметров, определяющих характер протекания нестационарного процесса затопления карьера, на модели воспроизведен период затопления с 2010 по 2021 г.

Прогнозные задачи направлены на оценку скорости затопления разреза Копейский при реализации трех сценариев: без проведения каких-либо мероприятий; при проведении мероприятий по укреплению западного борта разреза (засыпка половины емкости разреза); полная засыпка разреза (рис. 5а). Для определения влияния водности периода рассматривались три сценария (при условии засыпки половины емкости разреза): 10 лет повышенной водности; весь период затопления нормальная водность; 10 лет низкой водности (рис. 5б).

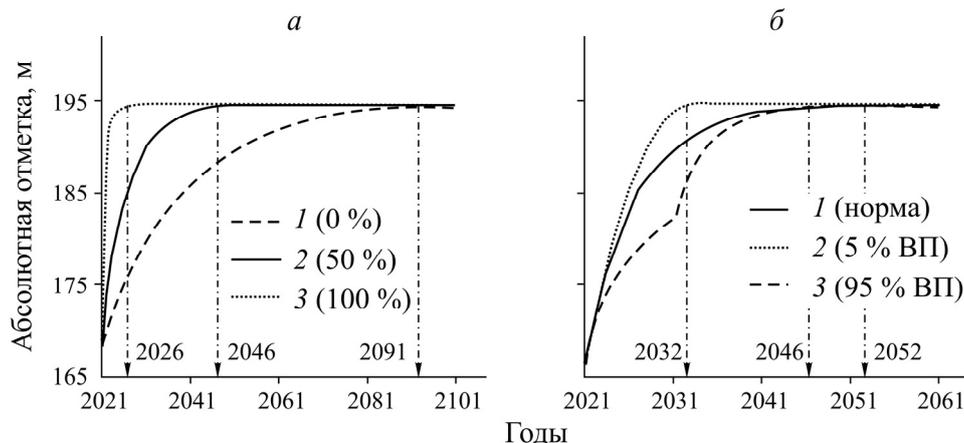


Рис. 5. Прогноз затопления Копейского разреза для разных сценариев, учитывающих: а — изменение степени заполнения выработанного пространства (1 — без засыпки; 2 — засыпка 50%; 3 — полная засыпка 100%); б — изменение водности (1 — нормальная водность; 2 — многоводный период 5% вероятности превышения (ВП) в течение 10 лет; 3 — маловодный период 95% вероятности превышения в течение 10 лет). Цифра у стрелки — год достижения предельной отметки

Предельное затопление для всех сценариев одинаковое и составляет +194.5 м. Время затопления, отсчитываемое от 2021 г., составит 70 лет без проведения каких-либо мероприятий и 5 лет при полной засыпке разреза.

При проведении мероприятий по укреплению западного борта разреза (50% заполнения выработанного пространства) отметка воды в разрезе Копейский +194.5 м с вероятностью 70% будет достигнута через 25 лет. При сочетании неблагоприятных факторов (ряд лет высокой водности) данная отметка будет достигнута через 6 лет. В ситуации периода лет очень низкой водности (как, например, 2021 г.), затопление будет продолжаться 31 год.

Для исключения подтопления объектов поверхности на берегу оз. Курлады, расположенных на абсолютных отметках 193.0–195.0 м, необходимо поддержание уровня воды в затопленном разрезе не выше абсолютной отметки +190.0 м. Следует откачивать порядка 1 млн м³ воды в год, реализовав одно из двух мероприятий: оборудование плавучей насосной станции производительностью 220 м³/ч в теплый период; оборудование погружного водоотливного комплекса производительностью 130 м³/ч (расход водоотлива из шахты и разреза 266 м³/ч).

При условии ликвидации утечек из водонесущих коммуникаций угрозы подтопления территории машзавода в настоящее время и в дальнейшей перспективе не существует.

Территория г. Копейска располагается на более высоких отметках, поэтому подтопление города никак не связано с затоплением разреза, а вызвано техногенными утечками из водонесущих коммуникаций. Общий объем подачи воды в Копейском городском поселении составляет 15.2 млн м³/год. Сетевые потери достигают 5.8 млн м³ (38%), что превышает суммарный водоотлив шахт “Красная горнячка” и “Центральная”. Большой объем потерь воды вызван ветхостью сетей водоснабжения, износ которых больше 80% [19].

Коркинский разрез — самый глубокий в Евразии, его глубина 493 м, длина по поверхности более 3 км, ширина свыше 2.5 км. Разрез прекратил свою работу в 2017 г. Кроме открытых работ на Коркинском месторождении велись и подземные работы. На 2005 г. промышленные запасы угля до глубины 630 м составляли 33 млн т, что могло обеспечить разрез работой на 23 года. Для этого требовалось провести разнос бортов разреза, переселить жителей, перенести промплощадку и завод. Однако активизировалось сдвижение бортов разреза (первый крупный оползень на северо-западном борту произошел в 1945 г.), стволы шахты “Коркинская” были признаны аварийными, начали разрушаться здания. Было принято решение о поэтапном закрытии разреза и переселении части жителей пос. Роза и г. Коркино. В бортах разреза регулярно фиксировались эндогенные пожары, что влияло не только на экологию г. Коркино. Весь регион, включая г. Челябинск, страдал во время попутных ветров от смога и едкого запаха.

Для реализации проекта рекультивации Коркинского разреза Русская медная компания (РМК) разработала проект, который предусматривает заполнение горной выработки и ликвидацию зон самовозгорания закладочным материалом на основе хвостов обогатительной фабрики Томинского ГОКа (трубопровод протяженностью около 14 км) [20]. За 5 лет локализовано 556 тыс. м² зон самовозгорания. В результате выбросы снизились в 26 раз: с 950 т в 2017 г. до 36 т в 2021 г.

Согласно проекту, заполнение отработанной выработки закладочным материалом будет завершено к 2045 г. К этому времени при отметке уровня воды +155 м в разрезе будет находиться 479 млн м³ закладочной смеси и 212 млн м³ воды. Предельная отметка затопления Коркинского разреза составит не более +210 м (судя по расположенной северо-западнее затопленной шахте “Калачевская”), при водопритоках подземных вод около 200 м³/ч время затопления разреза от отметки +155 м (площадь водной поверхности 4.7 км²) до отметки +220 м (площадь 7.4 км²) составит не менее 200 лет.

ВЫВОДЫ

Для предотвращения заболачивания северной части г. Копейска и поселков построена уникальная система водоотведения, не имеющая аналогов в России. Через насосную станцию и двадцатикилометровую систему канав и отстойников вода, которая скапливается на террито-

риях, нарушенных горными выработками, откачивается в реку Миасс. При надлежащем обслуживании дренажной системы и поддержании уровня воды в озере карьера пласта VIII-2.3 на уровне +180 м в соответствии с проектом ликвидации шахты “Красная горнячка” риск развития подтопления в результате прекращения водоотлива отсутствует.

Разрез Копейский до предельной отметки +194.5 м будет затопливаться до 2091 г. Для исключения подтопления объектов на восточном борту целесообразно предусмотреть поддержание уровня воды в затопленном разрезе не выше абсолютной отметки +190 м. Угрозы подтопления территории Копейского машинного завода не существует при условии ликвидации утечек и прекращении сброса воды на оползневой склон. Подтопление территории города Копейска вызвано техногенными утечками из водонесущих коммуникаций.

Коркинский разрез рекультивируется путем заполнения горной выработки закладочным материалом на основе хвостов обогатительной фабрики Томинского ГОКа, которые доставляются по трубопроводу. Принятые технологические решения позволяют принципиально улучшить экологическую ситуацию; укрепить оползнеопасные склоны разреза и прекратить эндогенные пожары в его бортах; утилизировать хвосты обогатительной фабрики Томинского ГОКа. Заполнение отработанной выработки закладочным материалом планируется завершить к 2045 г. при отметке уровня воды +155 м, однако окончательное затопление разреза естественным путем до отметки +210 м произойдет не раньше 2250 г.

Продолжительность и характер протекания постэксплуатационного этапа определяются комбинацией природных и техногенных факторов: особенностями геологического строения, геоморфологическими условиями, гидрометеорологической обстановкой, а также схемой и технологией отработки. В итоге формируются новые гидрогеоэкологические условия, когда вследствие заполнения депрессионной воронки образуются техногенные водоемы, подтапливаются территории и развиваются оползневые процессы. Кроме того, происходит высыхание поверхностных водоемов, которые десятки лет существовали за счет шахтного водоотлива, при этом качество воды в них претерпевает значительные изменения за счет испарительного концентрирования. Продолжительность постэксплуатационного этапа, в течение которого необходимо осуществлять контроль за ситуацией и выполнять мероприятия, обеспечивающие безопасные условия на территориях завершенной добычи, может достигать десятки и даже сотни лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моисеенков А. В. ФГБУ “ГУРШ” — двадцать лет спустя // Уголь. — 2018. — № 2. — С. 36–39.
2. Норватов Ю. А., Петрова И. Б. Методическое руководство по прогнозу гидрогеологических условий ликвидации угольных шахт и обоснованию мероприятий, обеспечивающих предотвращение негативных экологических последствий. — СПб.: ВНИМИ, 2008. — 79 с.
3. Wolkersdorfer C., Walter S., and Mugova E. Perceptions on mine water and mine flooding — An example from abandoned West German hard coal mining regions, Resources Policy, 2022, Vol. 79. — P. 103035.
4. Kretschmann J. Post-Mining — a holistic approach, Mining, Metallurgy and Exploration, 2020, Vol. 37. — P. 1401–1409.
5. Stemke M. and Wieber G. Closure of German hard coal mines: effects and legal aspects of mine flooding, Mine Water Env., 2022, Vol. 41. — P. 280–291.

6. Гуман О. М., Петрова И. Г., Лапин С. Э. Особенности экологического мониторинга вблизи угольных шахт (на примере шахты “Центральная” Копейского района Челябинского угольного бассейна) // Геология и геофизика. — 2001. — № 13. — С. 223–227.
7. Имайкин А. К., Имайкин К. К. Гидрогеологические условия Кизеловского угольного бассейна во время и после окончания его эксплуатации, прогноз их изменений. — Пермь: ПГНИУ, 2013. — 112 с.
8. Лангольф Э. Л., Лудзиш В. С., Лазаревич Т. И., Поляков А. Н. Актуальные проблемы освоения площадей горных отводов после затопления шахт Кузбасса // Маркшейдерский вестник. — 2007. — № 4. — С. 45–48.
9. Рыбников П. А., Рыбникова Л. С., Максимович Н. Г., Деменев А. Д. Исследование гидрогеологических условий угольных месторождений на постэксплуатационном этапе с использованием гидродинамического моделирования (на примере Кизеловского угольного бассейна, Западный Урал, Россия) // ГИАБ. — 2020. — № 3.1. — С. 488–500.
10. Рыбникова Л. С., Рыбников П. А. Закономерности формирования качества подземных вод на отработанных медноколчеданных рудниках Левихинского рудного поля (Средний Урал, Россия) // Геохимия. — 2019. — Т. 64. — № 3. — С. 282–299.
11. Dominique P., Aochi H., and Morel J. Triggered seismicity in a flooded former coal mining basin (Gardanne Area, France), Mine Water Environ, 2022, Vol. 41. — P. 317–334.
12. Морин С. В., Барсуков И. В. Вопросы оценки сдвижений и деформаций земной поверхности на ранее подработанных территориях угольных шахт // Сб. научн. тр. ВНИМИ. — СПб., 2012. — С. 237–245.
13. Рыбникова Л. С., Рыбников П. А. Гидрогеологические исследования в горном деле на постэксплуатационном этапе // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. — 2018. — № 4. — С. 25–39.
14. Wolkersdorfer C. Water management at abandoned flooded underground mines. Fundamentals, tracer tests. Modelling, water treatment. Springer Berlin, 2008. — 465 p.
15. Younger P. L., Jenkins D. A., Rees B., Robinson J., Jarvis A. P., Ralph J., Johnston D. N., and Coulton R. H. Mine waters in Wales: pollution, risk management and remediation, Urban geology in Wales, National museums and galleries of Wales geological series, 2004, No. 23. — P. 138–154.
16. Гидрогеология СССР. Т. XIV. Урал / Ред. В. Ф. Прейс. — М.: Недра, 1972. — 648 с.
17. Anderson M. P., Woessner W. W., and Hunt R. J. Applied groundwater modeling simulation of flow and advective transport, Academic Press, 2015. — 564 p.
18. Карта ресурсного потенциала пресных подземных вод России. Масштаб 1:5 000 000 / Под ред. Б. В. Боровского. — М.: ЗАО “ГИДЭК”, 2012.
19. Схема водоснабжения и водоотведения муниципального образования “Копейский городской округ” Челябинской области до 2038 г. — Копейск, 2018. — 393 с.
20. Соколовский А. В., Лапаев В. Н., Темникова М. С., Гордеев А. И. Технологические особенности ликвидации разреза “Коркинский” // Уголь. — 2018. — № 3. — С. 91–95.

Поступила в редакцию 17/II 2023

После доработки 25/IV 2023

Принята к публикации 18/V 2023