

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ МИНИМИЗАЦИИ РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.Ю. Куликова¹, Ю.А. Сергеева²

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва;
² АО «СУЭК»

Аннотация: Одной из проблем функционирования предприятий угольной промышленности является образование шахтных вод, которые сбрасываются в водные объекты и вызывают их опасное загрязнение. Из всего объёма вод, откачиваемых предприятием, до 15 % идет на оборотный цикл, оставшиеся 85% сбрасываются в поверхностные водные объекты. В результате нарушается экологическое равновесие угольных регионов, ухудшается их санитарно-гигиеническое состояние. Объёмы загрязнения шахтных вод возрастают при ведении горных работ на более глубоких горизонтах и в сложных горно- и гидрогеологических условиях. В свою очередь, это приводит к загрязнению и истощению подземных водоносных горизонтов и формированию факторов экологического риска. В Кузбассе все эти факторы способствуют развитию водного кризиса, так как состояние поверхностных водоёмов уже достигло критического предела. Особую опасность представляют процессы ликвидации шахт. При ликвидации шахт шахтные воды поступают в поверхностные водоемы и водотоки, вызывая их деградацию. В воду попадает еще большее количество загрязняющих веществ, которые отравляют подземную гидросферу регионов. В работе приведен анализ загрязняющих веществ, поступающих в подземную и поверхностную гидросферу на угольных предприятиях, и предложена концептуальная модель минимизации риска загрязнения водных ресурсов.

Ключевые слова: загрязнение, шахтные воды, угольный разрез, гидрохимический мониторинг, концептуальная модель.

Для цитирования: Куликова Е.Ю., Сергеева Ю.А. Концептуальная модель минимизации риска загрязнения водных ресурсов Кемеровской области // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 6-1. – С. 107–118. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-107-118.

Conceptual model for minimizing the risk of water pollution in the Kemerovo region

E.Yu. Kulikova¹, Ju.A. Sergeeva²

¹ National university of science and technology «MISIS», Moscow, Russia;
¹ JSC «SUEK», Russia

Abstract: One of the problems of functioning of coal industry enterprises is the formation of mine waters, which are discharged into water bodies and cause their dangerous pollution. The total volume of water pumped by the enterprise includes up to 15 % for the recycling cycle, the

remaining 85% is discharged to surface water bodies. As a result, the ecological balance of coal regions is disturbed, their sanitary and hygienic state on the environment worsens, and the quality of coal is reduced due to the intake of polluted water for technological operations. The volume of mine water contamination increases during mining operations at deeper horizons and in difficult mining and hydrogeological conditions. In turn, this leads to pollution and depletion of underground aquifers and the formation of environmental risk factors. In Kuzbass, all these factors contribute to the development of water crisis, since the state of surface reservoirs has already reached a critical limit. Especially dangerous is the process of liquidation of mines. Closing mines and sections disrupt natural water flows, resulting in all water from the aquifers going to deeper horizons. More pollutants enter the water, which poison the underground hydrosphere of the regions. The paper analyzes the pollutants entering the underground and surface hydro grid at coal-fired plants and offers a Conceptual model for minimizing the risk of water pollution.

Key words: pollution, mine water, coal mine, hydro-chemical monitoring, conceptual model.

For citation: Kulikova E.Yu., Sergeeva Ju.A. Conceptual model for minimizing the risk of water pollution in the Kemerovo region. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6-1):107-118. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-107-118.

Введение

Добыча угля сопряжена с негативным воздействием на гидрологию и гидрогеологию любого угольного региона: образуются масштабные депрессионные воронки, происходит загрязнение поверхностных и подземных вод. Следствием образования депрессионных воронок является пересыхание и истощение естественных водных источников, а также водозаборных скважин и колодцев. Поверхностные водные источники становятся непригодными для водопотребления и водопользования, ухудшаются санитарно-гигиенические условия местности. Особенно подобная ситуация характерна для регионов с использованием «мокрого» способа ликвидации угольных шахт при реструктуризации угольных предприятий.

Шахтные воды характеризуются высокой концентрацией вредных и взвешенных веществ (до нескольких десятков и сотен г/дм³), низкой прозрачностью и другими нежелательными качествами. Как правило, такие воды требуют тщательной очистки перед сбросом в естественные водоемы или при использовании в оборотном водоснабжении

в технологических процессах. Среди химических загрязнителей первостепенное место отводится нефтепродуктам, нитратам, нитритам. Источниками загрязнения водоемов также являются смывы поверхностных загрязнений с территорий шахт, разрезов, углеобогачительных фабрик и отвалов породы.

Ухудшение состояния и качества подземных вод определяется не только воздействиями в процессе эксплуатации горнодобывающих предприятий, но особую роль играет процесс их ликвидации. После затопления шахт из выработанного пространства в воду попадают железо, марганец, сероводород, что, благодаря наличию гидравлической связи между подземными и поверхностными водными источниками, приводит к загрязнению и деградации последних.

Добыча угля подземным способом влечет формирование сточных вод следующих типов [1–5]:

- технологические воды (формируются при осуществлении всех этапов производственного процесса);
- попутно-забираемые воды (шахтные, дренажные),

- хозяйственно-бытовые воды (формируются в административно-бытовых корпусах).

В 2018 г. в России при добыче и обогащении угля в водные объекты было сброшено 437,6 млн м³ сточных вод, из них 77,3 млн м³ было очищено до нормативных значений, 27,1 млн м³ было признано нормативно чистыми без очистки. 76 % от объема всех сброшенных вод, т.е. 333,2 млн м³ были загрязненными, при этом 209,0 млн м³ из них были недостаточно очищены, а 124,2 млн м³ вообще не подвергались очистке [2–4].

1. Состояние водных объектов Кемеровской области

Наше исследование посвящено одному из наиболее уязвимых с точки зрения загрязнения водного бассейна городов Кемеровской области — Ленинск-Кузнецку, который расположен в центральной части Кемеровской области на водоразделе р. Иня и ее правого притока р. Мереть, в географическом центре Кузбасского угольного бассейна. Угольная промышленность на территории г. Ленинск-Кузнецкий представлена четырьмя шахтами АО «СУЭК-Кузбасс» (АО «Шахта им. С.М. Кирова», АО «Шахта им. 7 ноября», АО «Шахта Комсомолец», АО «Шахта им А.Д. Рубана») и «Шахта Костромовская» (группа «Белон»). АО «СУЭК-Кузбасс» является самой крупной компанией в России по добычи угля подземным способом. Объем добычи — около 38 млн т в 2018 г. [3].

Городу Ленинск-Кузнецкий отводится пятое место среди городов Кемеровской области по уровню объема выбросов от стационарных источников: доля вклада города в загрязнение области 4,83% или 73,235 тыс. т загрязняющих веществ. При этом согласно информации отдела водных ресурсов по Кемеровской области Верхне-Обского бассейнового водного управле-

ния забор вод на хозяйственно-питьевое и производственное водоснабжение из поверхностных водных источников составило 25,252 млн м³, из подземных — 33,083 млн м³ (табл. 1).

Согласно тому же источнику сброс сточных вод в поверхностные водоемы в 2016 г. составил 45,573 млн м³, включая шахтно-рудничные воды, что превысило сброс за предыдущий год на 1,974 млн м³ (табл. 2, 3) [1, 2, 5].

Как следует из табл. 3, шахты являются одним из основных источников загрязнения водных ресурсов. Анализ состава загрязняющих веществ в р. Иня (табл. 4) позволил выявить типичные для рек Кемеровской области загрязняющие вещества, сформированные в результате производственной деятельности этого региона [5].

Таковыми веществами оказались тяжелые металлы (железо, медь, цинка), взвешенные вещества и органические соединения (по показателям ХПК и БПК_{полн.}), фенолы, нефтепродукты, соединения азота. Более того, было выявлено превышение среднегодовых концентраций попадающих в р. Иня загрязняющих веществ их предельно допустимых значений (ПДК) (табл. 5). Так, вблизи города Ленинск-Кузнецкий концентрации фенола превысили ПДК в 2–3 раза, нефтепродуктов в 4–3,6 раза, цинка в 5,2–2,5 раза, меди в 9 раз, марганца в 6,3–7,6 раз, железа общего в 3,4–5,7 раза [3]. Река Иня с притоками загрязнена железом и органикой, класс качества 3 «Б», в районе Беловского водохранилища отмечаются высокие концентрации марганца, железа и органических веществ. Кислородный режим соответствует удовлетворительному [1]. Удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды (УКИЗВ) имеет стойкую тенденцию к увеличению. Так, за последние 5 лет этот показатель вырос с 2,5 до 3,2.

Таблица 1

Использование воды на различные нужды, млн м³
 Water use for various needs, million m³

Показатели	Годы		
	2006	2007	2016
Забрано воды из водных объектов, всего, в том числе:	60,22	60,235	58,335
из поверхностных источников	26,603	26,673	25,252
из подземных источников (включая шахтную воду)	33,617	33,562	33,083
шахтной воды	29,757	29,823	2,585
Использовано свежей воды, всего, в том числе:	17,46	17,755	16,982
на хозяйственно-питьевые нужды	7,261	7,923	8,248
на производственные нужды	8,719	8,238	7,252
другие нужды	1,48	1,594	1,482

Таблица 2

Объем сброса сточных вод в природные поверхностные водные объекты, млн м³
 Volume of wastewater discharge to natural surface water bodies, million m³

Показатели	Годы		
	2006	2015	2016
Количество предприятий, сбрасывающих сточные воды	13	10	9
Отведено сточных вод в поверхностный водный объект, всего, в том числе:	42,831	43,599	45,573
без очистки	4,679	2,720	2,348
недостаточно очищенных	38,152	40,879	43,225
Мощность действующих очистных сооружений	76,24	76,24	76,24

Таблица 3

Данные о предприятиях города, вносящих максимальных вклад в загрязнение сточных вод при их сбросе в поверхностные водоемы

№ п/п	Предприятие, выпуск	Наличие или отсутствие очистных сооружений	Водоем-приемник сточных вод	Сброс сточных вод, тыс. м ³ /год		Мощность очистных сооружений, тыс. м ³
				2015	2016	
1	ООО «Водоканал»					24564,5
	выпуск города	+	р. Инья	10761	11222	
	выпуск п. Никитинский	+	р. Камышанка	106	105	
	выпуск больничного комплекса	+	р. Мереть	359	49*	
	выпуск Лесного городка	+	р. Мереть	400	402	
2	АО «Шахта им. С.М. Кирова»					15330
	центральный в/отлив	+	р. Инья	8334	7950	
	западный в/отлив	+	р. Инья	2193	2438	

Окончание табл. 3

№ п/п	Предприятие, выпуск	Наличие или отсутствие очистных сооружений	Водоем-приемник сточных вод	Сброс сточных вод, тыс. м ³ /год		Мощность очистных сооружений, тыс. м ³
				2015	2016	
3	АО «Шахта им. 7 ноября»					26792
	выпуск производственных сточных вод	+	р. Иня	8992	10420	
	объединенный водоотлив	+	р. Иня	2799	2751	
	36 шурф	+	р. Иня	1330	1095	
4	АО «Шахта Комсомолец»					5395
	центральный в/отлив	+	р. Иня	600	600	
	Бреевский водоотлив		р. Иня	1600	1600	
5	АО «Шахта им. А.Д. Рубана»					3285
	выпуск шахтных вод	+	р. Иня	2436	2996	
6	ООО «ЛК ТК»					-
	выпуск котельной «Энергетик»	-	руч. Егозово, р. Иня	99	373	
	выпуск котельной КСК	-	руч. Дальний, р. Иня	79	402,8	
	выпуск на рельеф	-		330	236	
	выпуск привокзальной котельной	-	руч. Дальний, р. Иня	126	444	
7	ООО «Завод Красный Октябрь»					
	выпуск производственных сточных вод	+	р. Камышанка	64	53	710
8	ООО «ЗСМ»					
	выпуск смешанных сточных вод	+	руч. Дальний, р. Иня	12	9,527	165
9	ФГУ ЛИУ-42	-				-
	выпуск смешанных сточных вод		руч. Дальний, р. Иня	90	90	

* Снижение объема сброса сточных вод ООО «Водоканал» объясняется закрытием очистных сооружений больничного комплекса. Сточные воды от больничного комплекса направляются через КНС в коллектор городских очистных сооружений.

Таблица 4

Количество загрязняющих веществ, сбрасываемых промышленными предприятиями в р. Иня, т

Название загрязнителя	Количество по годам, т	
	2015	2016
Взвешенные вещества	950,00	792,00
Сухой остаток	48875,00	47088,00
ХПК	169,00	129,00
БПК _{полн.}	146,00	164,00
СПАВ	0,863	0,815
Нефтепродукты	11,00	7,00
Сульфаты	7597,00	6105,00
Фенолы	0,02	0,018
Хлориды	2166,00	2249,00
Нитриты	0,674	0,745
Нитраты	144,05	199,70
Марганец	0,492	0,351
Медь	0,039	0,063
Никель	0,337	0,217
Азот аммонийный	19,964	18,005
Цинк	0,622	0,505
Железо	14,451	9,64
Фосфор общий	18,568	18,882
Хром 6 +	0,042	0,066
Всего	60114,122	56783,007

Таблица 5

Среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в р. Иня в районе г. Ленинск-Кузнецкий в 2016 году, мг/л

Загрязняющее вещество	ПДК	На отметке 15 км выше города	Кратность превышения ПДК	На отметке 15 км ниже города	Кратность превышения ПДК
ХПК	15,0	31,4	2,1	35,4	2,3
БПК ₅	2,0	3,49	1,7	3,98	1,9
Азот аммонийный	0,40	0,14	не превышает	0,16	не превышает
Азот нитритный	0,02	0,016	не превышает	0,011	не превышает
Фенол	0,001	0,002	2	0,002	2
Нефтепродукты	0,05	0,11	2,2	0,12	2,4
Цинк	10,0	16,4	1,6	10,4	1,04
Медь	1,0	2,1	2,1	2,3	2,3
Марганец	10,0	15,9	1,5	15,9	1,5
Железо общее	0,1	0,16	1,6	0,19	1,9
Взвешенные вещества	не более 0,25 над фоном	33,8	–	34,3	–

2. Проекты минимизации риска загрязнения водного бассейна

В настоящее время в Кемеровской области разработан и реализуется ряд проектов, направленных как на минимизацию риска загрязнения водных объектов за счет снижения объема сбрасываемых сточных вод в реки и озера Кемеровской области, так и на совершенствование методов очистки. Благодаря этому (по сравнению с 2008 г.) произошло сокращение объема загрязненных промышленными предприятиями сточных вод на 15,3% и увеличение сброса нормативно очищенных сточных вод в 20,5 раз [1, 4].

В Кемеровской области активно строятся и вводятся в эксплуатацию современные очистные сооружения: только за последние семь лет введены в строй 11 новых современных очистных комплексов, на двух предприятиях проведена реконструкция очистных систем, на 5 угольных предприятиях запланирован ввод в эксплуатацию очистных сооружений, а также реконструкция систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения. Новые предприятия, например, обогатительные фабрики, строятся с замкнутой водооборотной системой. Увеличивается объем финансирования на очистку сточных вод. Так, за последнее время он составил порядка 3 млрд рублей, из них 90% средств поступило от угольных компаний и было направлено на модернизацию собственного производства [1, 15, 16].

Тем не менее опасное загрязнение водных ресурсов Кемеровского края сохраняется и имеет тенденцию к увеличению. Большинство очистных сооружений не отвечают современным требованиям. Поэтому необходимо модернизировать существующие очистные системы и увеличить их мощность. Для этого необходимы данные о коли-

чественных и качественных характеристиках загрязнителей, попадающих в водные объекты [6–10].

3. Гидрохимический мониторинг

Для разработки стратегии минимизации риска загрязнения водного бассейна необходимо иметь банк данных о динамике и характере загрязнения сточных и речных вод, для чего необходимо предусмотреть проведение гидрохимического мониторинга [5–7]. Этот вид мониторинга особенно актуален для условий ликвидации шахт, так как после затопления они являются фактором риска загрязнения поверхностных и подземных вод взвешенными частицами за счет разложения накопленных органических остатков, а также химическими и другими веществами.

Гидрохимический мониторинг включает в себя мониторинг поверхностных и подземных вод [5, 9, 10, 12, 13].

Целью мониторинга подземных вод является определение качества откачиваемых или самоизливающихся на земную поверхность шахтных вод в створах водных объектов выше и ниже точки сброса.

Мониторинг поверхностных вод проводится в соответствии с Требованиями Постановления Правительства РФ «О создании Единой государственной системы экологического мониторинга» № 1410 от 21.12.1999 г. и имеет целью определить характер и уровень загрязнения поверхностных водных источников со стороны промышленных и, в первую очередь, шахтных предприятий. Данные об объектах гидрохимического мониторинга приведены в табл. 6, 7. Следует учитывать, что шахты, подлежащие ликвидации, относятся ко второму типу — потенциально опасные по условиям загрязнения поверхностных и подземных вод [5, 12–14].

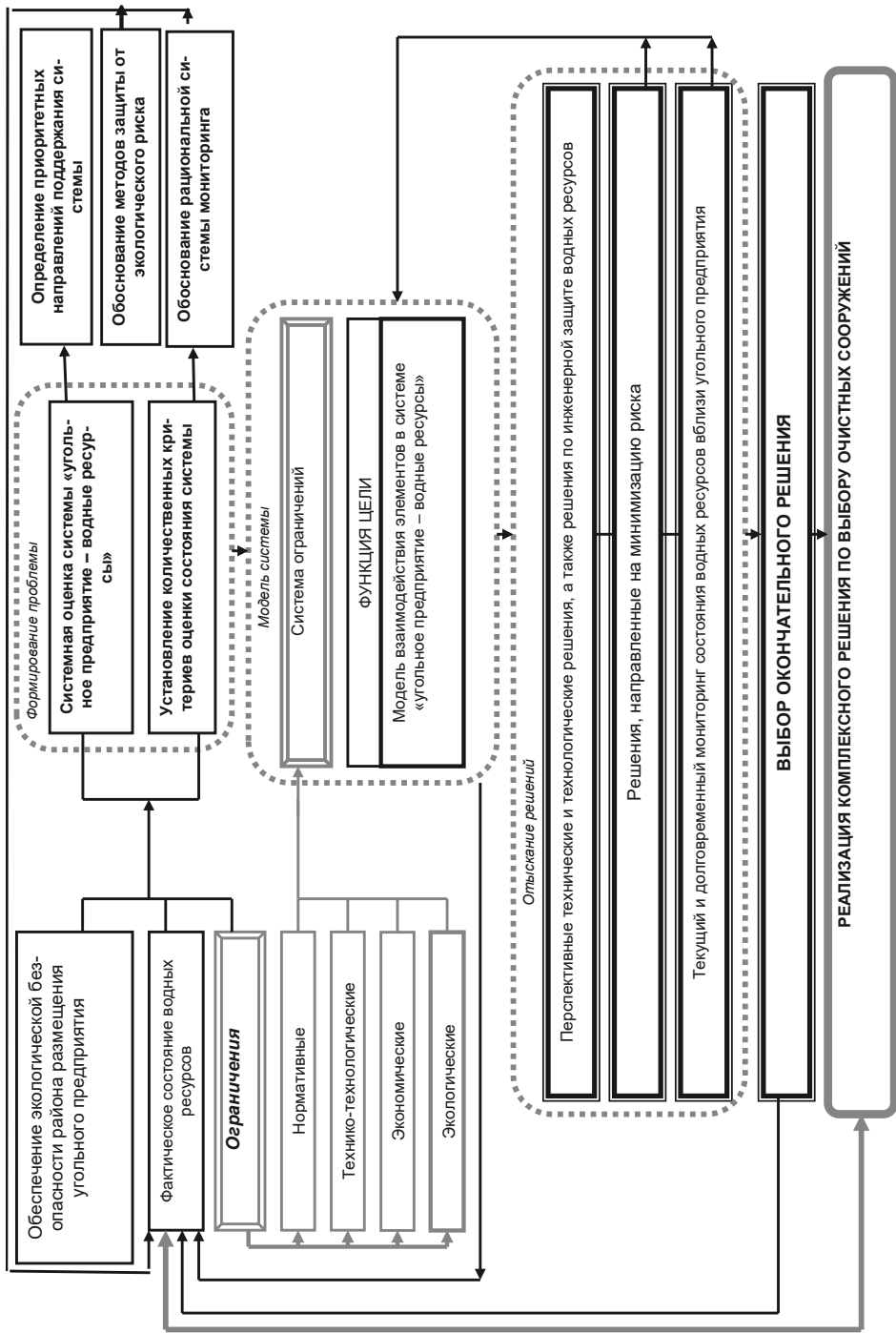


Рис. 1. Концептуальная модель минимизации риска загрязнения водных ресурсов вблизи угольного предприятия
 Fig. 1. Conceptual model for minimizing the risk of water pollution in the vicinity of a coal plant

Таблица 6
Объекты гидрохимического мониторинга

Объекты мониторинга	Годы		
	2012	2015	2017
Сточные воды	13	13	2
Поверхностные воды	14	14	4
Всего	27	27	6

Таблица 7
Наблюдения за объектами гидрохимического мониторинга

Объекты мониторинга	2012		2015		2017	
	Пробы	Анализы	Пробы	Анализы	Пробы	Анализы
Сточные воды	84	2016	78	1872	2	60
Поверхностные воды	96	1856	84	1624	3	124
Всего	180	3872	162	3496	6	184

Результаты мониторинга сточных вод [5, 10, 13, 15] затопленных шахт свидетельствует, что для каждого горного отвода имеется определенный диапазон значений концентраций одних и тех же загрязняющих веществ, характерный для специфики промышленного района. Как правило, в поверхностных водоемах фиксируются взвешенные вещества, тяжелые металлы — железо и марганец, нефтепродукты, фенолы, сероводород, никель и хром. При этом общие закономерности формирования состава сточных вод шахтных предприятий отсутствуют.

Анализ результатов гидрохимического мониторинга показывает, что весь период затопления шахт должен сопровождаться строгим контролем за допустимым уровнем затопления. Следовательно, необходимо выработать стратегию минимизации риска загрязнения поверхностных вод в угледобывающем регионе на весь период его эксплуатации, в том числе предусмотреть меры защиты гидросферы при ликвидации шахт.

Учитывая стохастический характер влияния угольного предприятия на загрязнение водных источников,

политика управления рисками для формируемой системы «угольное предприятие — водные ресурсы» должна включать оптимизационный аппарат с грамотно подобранными технологиями принятия решений с учетом случайных факторов. При этом для создания такого аппарата гидрохимический мониторинг имеет решающее значение.

4. Концептуальная модель минимизации риска загрязнения водных ресурсов шахтных предприятий

Данные мониторинга состояния водных ресурсов в зоне влияния угольного предприятия составляют основу для разработки концептуальной модели (рис. 1). Модель строится на комплексных показателях состояния окружающей среды и включает в себя ряд ограничений [17]:

- нормативных, оперирующих значениями ПДК, ПДС и ПДВ загрязняющих веществ в водоемах, атмосферном воздухе, почве;
- технико-технологических, обеспеченных наличием существующих технологий или перспективных технических решений, оборудования и технических средств очистки сточных вод;

- экономических, определяемых источниками и объемами финансирования природоохранных мероприятий;

- экологических, регламентирующих границы возникновения рисков случаев и их последствий.

Заключительный этап реализации политики минимизации риска системы «угольное предприятие — водные ресурсы» включает разработку новых и модернизацию существующих схем, технологий и оборудования для системы очистки водных ресурсов с учетом комплексного характера защиты окружающей среды и специфики эксплуатации или ликвидации горного предприятия.

Выводы

1. Результаты анализа экологической обстановки в Кузбассе свидетельствуют о высоком риске загрязнения вод горнодобывающими предприятиями, особенно в период их ликвидации.

2. Проектирование, финансирование, научные инновации и модернизация технологий эксплуатации и ликви-

дации угледобывающих предприятий должны осуществляться на основе тщательно проработанной политики управления рисками, основанной на проведении гидро- и геомеханического мониторинга, концептуального моделирования загрязнения водных ресурсов региона, а также усовершенствовании имеющихся и разработке новых технологий очистки сточных вод.

3. Стратегия минимизации рисков при эксплуатации и ликвидации уголь при предприятиях состоит в оптимизации всех уровней горного производства, начиная со стадии составления проекта отработки угля, моделирования технологических процессов при эксплуатации шахты, ее реконструкции и ликвидации и заканчивая современными решениями по утилизации и очистке сточных вод с территории горного отвода. Только такой подход позволит исключить риск возникновения экологических катастроф, связанных с загрязнением водных ресурсов Кемеровской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2018 году. Кемерово. 2019. URL: http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2019/02/Doclad_2018.pdf.

2. Об утверждении государственной программы Кемеровской области — Кузбасса «Экология, недропользование и рациональное водопользование» на 2017 — 2024 годы (с изменениями на 23 декабря 2019 года). — Коллегия администрации Кемеровской области. — Постановление от 16 сентября 2016 года № 362. URL: <http://docs.cntd.ru/document/441678826>.

3. Попов А.А., Хорошилова Л.С. Влияние негативных факторов на экосистему Кузбасса. — Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. — № 11. — 2011. — С. 5–8

4. Попова Д.С. Экологические проблемы угледобывающих регионов России. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2017. — № 8 (часть 1) — С. 126–131

5. Ефимов В.И., Лермонтов Ю.С., Сидоров Р.В., Корчагина Т.В. Экологические последствия закрытия шахт в Кузбассе и их мониторинг. — Известия ТулГУ. Науки о Земле. — вып. 4. — С. 4–12

6. Gavrishin A.I. Formation patterns of the chemical composition of mine waters in eastern donbas Doklady Earth Sciences. 2018. T. 481. No 1. Pp. 916–917.

7. *Runtti H., Tolonen E.T., Tuomikoski S., Lassi U., Luukkonen T.* How to tackle the stringent sulfate removal requirements in mine water treatment—a review of potential methods *Environmental Research*. 2018. T. 167. Pp. 207–222.

8. *Arefieva O.D., Shapkin N.P., Gruschakova N.V., Prokuda N.A.* Mine water: chemical composition and treatment *Water Practice and Technology*. 2016. T. 11. No 3. Pp. 540–546.

9. *Пелипенко М.В., Баловцев С.В., Айнбиндер И.И.* К вопросу комплексной оценки рисков аварий на рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 11. — С. 180–192. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-0-180-192.

10. *Баловцев С.В., Шевчук Р.В.* Геомеханический мониторинг шахтных стволов в сложных горно-геологических условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — №8. — С. 77–83. DOI: 10.25018/0236-1493–2018–8-0–77–83.

11. *Баловцев С.В., Скопинцева О.В., Коликов К.С.* Управление аэрологическими рисками при проектировании, эксплуатации, ликвидации и консервации угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6. — С. 85–94. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94.

12. Экологические проблемы Кемеровской области. — URL: http://f.kemrsl.ru/documents/Ekologicheskie_problemyi_Kemerovskoy_oblasti_Vyipusk_24_%282018%29.pdf; http://www.libhelp.ru/documents/Ekologicheskie_problemyi_Kemerovskoy_oblasti_Vyipusk_25_%282018%29.pdf.

13. *Лебедев В.С., Скопинцева О.В.* Остаточные газовые компоненты угольных пластов: состав, содержание, потенциальная опасность // Горный журнал. — 2017. — №4 — С. 84–86. DOI: 10.17580/gzh.2017.04.17.

14. *Gubina N.A., Ylesin M.A., Karmanovskaya N.V.* Ways to increase the productivity and quality of mine water treatment. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2018. T. 9. No 3 (27). Pp. 423–427.

15. *Palihakkara C.R., Dassanayake S., Jayawardena C., Senanayake I.P.* Floating wetland treatment of acid mine drainage using eichhornia crassipes (water hyacinth). *Journal of Health and Pollution*. 2018. T. 8. No 17. Pp. 14–19.

16. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. — 2020/. URL: <https://www.gost.ru/portal/gost/home/activity/NDT>.

17. *Куликова Е.Ю.* Механизм управления рисками в городском подземном строительстве. — М.: Горный информационный аналитический бюллетень. — 2006. — № 10. — С. 32–35. **ИВАБ**

REFERENCES

1. *Doklad o sostoyanii i okhrane okruszhayuschei sredy Kemerovskoy oblasti v 2018* [Report on the state and protection of the environment of the Kemerovo region in 2018]. Kemerovo. 2019 [In Russ]

2. *Ob utverzhenii gosudarstvenno y programmy Kemerovskoy oblasti* [Approval of the Kemerovo region Kuzbass state program “Ecology, subsoil use and rational water use” for 2017–2024 (as amended on December 23, 2019)]. Board of administration of the Kemerovo region. Resolution of September 16, 2016. no. 362 [In Russ] [

3. *Popov A.A., Khoroshilova L.S.* Influence of negative factors on the ecosystem of Kuzbass. *Bulletin of the scientific center for work safety in the coal industry*. no. 11, 2011. P. 5–8 [In Russ] [In Russ]

4. *Popova D.S.* Environmental problems of coal-mining regions of Russia. *International journal of applied and fundamental research*, 2017, no. 8 (part 1), pp. 126–131. [In Russ]

5. *Efimov V.I., Lermontov Yu.S., Sidorov R.V., Korchagina T.V.* Ecological consequences of the closure of mines in Kuzbass and their monitoring). *Earth science*. Issue 4. pp. 4–12 [In Russ]

6. *Gavrishin A.I.* Formation patterns of the chemical composition of mine waters in Eastern Donbas. *Doklady Earth Sciences*. 2018. T. 481. no. 1. Pp. 916–917.

7. Runtti H., Tolonen E.T., Tuomikoski S., Lassi U., Luukkonen T. How to tackle the stringent sulfate removal requirements in mine water treatment—a review of potential methods. *Environmental Research*. 2018. T. 167. pp. 207–222.

8. Arefieva O.D., Shapkin N.P., Gruschakova N.V., Prokuda N.A. Mine water: chemical composition and treatment. *Water Practice and Technology*. 2016. T. 11. no. 3. pp. 540–546.

9. Pelipenko M.V., Balovtsev S.V., Aynbinder I.I. Integrated accident risk assessment in mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 11, pp. 180–192. DOI: 10.25018/0236–1493-2019-11-0-180-192. [In Russ]

10. Balovtsev S.V., Shevchuk R.V. Geomechanical monitoring of mine shafts in difficult ground conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no. 8, pp. 77–83. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-8-0-77-83. [In Russ]

11. Balovtsev S.V., Skopintseva O.V., Kolikov K.S. Aerological risk management in designing, operation, closure and temporary shutdown of coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(6):85–94. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94. [In Russ]

12. *Ecologicheskie problem Kemerovskoy oblasti* [Environmental problems of the Kemerovo region]. Digest 2017, 2018 [In Russ]

13. Lebedev V.S., Skopintseva, O.V. Residual coalbed gas components: Composition, content, hazard. *Gornyi Zhurnal*. 2017, no. 4, pp. 84–86. DOI: 10.17580/gzh.2017.04.17. [In Russ]

14. Gubina N.A., Ylesin M.A., Karmanovskaya N.V. Ways to increase the productivity and quality of mine water treatment. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2018. T. 9. no. 3 (27). pp. 423–427.

15. Palihakkara C.R., Dassanayake S., Jayawardena C., Senanayake I.P. Floating wetland treatment of acid mine drainage using eichhornia crassipes (water hyacinth). *Journal of Health and Pollution*. 2018. T. 8. no. 17. pp. 14–19.

16. *Informatsionno-tekhnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam* [Information and technical reference on the best available technologies]. Rosstandart, 2020 [In Russ]

17. Kulikova E. Yu. Mechanism of risk management in urban underground construction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* . 2006. pp. 32–35 [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Куликова Елена Юрьевна — докт. техн. наук, профессор кафедры «Безопасность и экология горного производства», e-mail: fragrante@mail.ru, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Ленинский пр., 4, Москва, 119049;

Сергеева Юлия Александровна — заместитель начальника Управления ПК, ПБ, ОТ и ООС, начальник отдела охраны окружающей среды АО «СУЭК», e-mail: sergeevaya@suek.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kulikova E.Yu., Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department «Safety and Ecology of Mining», fragrante@mail.ru, National university of science and technology «MISIS», Russia;

Sergeeva Ju.A., Head of the Environmental Protection Department of, e-mail: sergeevaya@suek.ru, JSC «SUEK», Russia.

Получена редакцией 11.03.2020; получена после рецензии 06.04.2020; принята к печати 20.05.2020.

Received by the editors 11.03.2020; received after the review 06.04.2020; accepted for printing 20.05.2020.

