

УДК 551.435.16

ТРАНСФОРМАЦИЯ КАРСТОВОГО СУХОДОЛА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КИСЛЫХ ШАХТНЫХ ВОД КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Н.Г. Максимович, О.А. Березина, О.Ю. Мещерякова

Горные работы оказывают влияние на уникальные карстовые ландшафты и речные системы, видоизменяя их и ухудшая показатели экологического состояния. Цель проведенного исследования заключалась в оценке влияния хозяйственной деятельности, связанной с освоением угольного месторождения, на карстовый суходол. Объектом исследования стал карстовый суходол Губайка бассейна р. Косьвы на территории Кизеловского угольного бассейна (Пермский край), подверженный воздействию кислых шахтных вод. В исследовании применялись визуальное наблюдение, описание, фотофиксация, отбор проб вод на химический анализ, проводился ретроспективный анализ состояния карстовых суходолов с использованием картографических и фондовых материалов. Сброс кислых шахтных вод в изучаемые формы рельефа стал причиной резкого изменения гидродинамической и гидрохимической обстановок. Взаимодействие кислых шахтных и естественных нейтральных или слабощелочных вод приводит к снижению водородного показателя и выпадению техногенного осадка в виде гидроксидов, а также других соединений железа и алюминия, обогащенных микроэлементами. Заполнение карстовых подрусловых полостей и воронок осадком обуславливает трансформацию суходола в речную систему с появлением поверхностного стока. Для суходола Губайка, где продолжается его загрязнение кислыми стоками с породных отвалов, необходим комплекс природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: Кизеловский угольный бассейн, карст, суходолы, кислые шахтные воды, водные экосистемы.

Введение

Разработка угольных и иных месторождений в районах развития карста имеет ряд специфических особенностей [1, 2]. С одной стороны, карстовые процессы осложняют ведение горных работ, обуславливают большие водопритоки в выработки. С другой стороны, добыча полезных ископаемых оказывает негативное влияние на поверхностные и подземные карстовые формы, что ведет к деградации уникальных карстовых ландшафтов [3, 4]. Одним из ярких примеров таких явлений является Кизеловский угольный бассейн (КУБ), расположенный на востоке Пермского края, площадью около 200 км² (рис. 1). В гидрогеологическом отношении КУБ относится к бассейну трещинно-карстовых вод. Среди карбонатных пород, вмещающих угленосные отложения, встречаются терригенные пачки и свиты, играющие роль водупоров. Основными из них, имеющих региональное распространение, являются терригенно-карбонатные отложения нижней части московского яруса

среднего карбона и угленосные отложения [5]. Карстующиеся породы в пределах исследуемой территории занимают до 75 % площади, где распространены различные карстовые формы рельефа: суходолы, карстовые воронки, котловины, пещеры и подрусловые полости [6].

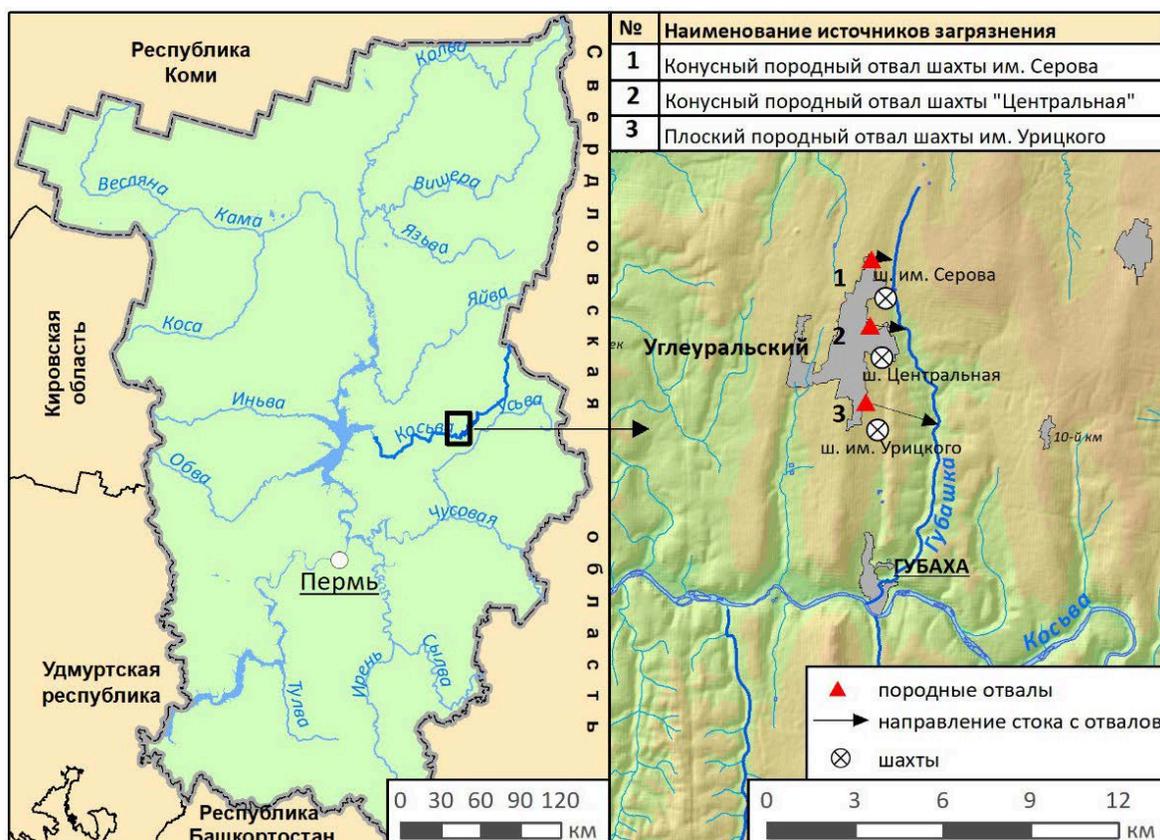


Рис. 1. Местоположение р. Губашки и источники ее загрязнения

По химическому составу в естественных условиях подземные воды на территории КУБ являлись пресными с минерализацией от 0,03 до 0,58 г/дм³, преимущественно гидрокарбонатного кальциевого или сульфатно-гидрокарбонатного магниево-кальциевого типа. В период разработки месторождений подземные воды приобрели кислую реакцию среды (рН 2...3) и минерализацию, достигающую до 9,5 г/дм³. В водах обнаруживалось высокое содержание железа, алюминия, марганца, бериллия и других микроэлементов.

Добыча угля велась шахтным способом, глубина разработок изменялась от 220 до 1200 м и сильно осложнялась из-за присутствия в карбонатных отложениях обводненных горизонтов и развитых карстовых процессов. Водоприитоки в шахты составляли до 2000 м³/час [3]. На одну тонну добываемого угля приходилось около 7 м³ откачиваемой воды, которая без очистки

сбрасывалась в гидрологическую сеть территории, в том числе в **карстовые суходолы**.

В начале 2000-х годов добыча угля полностью прекратилась, все шахты были ликвидированы методом затопления, после восстановления уровня подземных вод появились изливы кислых шахтных вод (КШВ) с низкими значениями рН и опасным для окружающей среды химическим составом (Fe – до 3,6 мг/л, Al – до 157 мг/л, Mn – до 35 мг/л). При впадении в речную сеть КШВ, смешиваясь с нейтральными природными водами, образуют осадок, представленный в основном аморфными гидроксидами железа и алюминия характерного оранжевого цвета. Сброс КШВ в суходолы привел к закупорке подрусловых полостей данным осадком и, как следствие, их трансформации в реки с наличием поверхностного стока в русле.

Методы исследования

Для изучения современного состояния карстового суходола на территории ликвидированного угольного месторождения применялись полевые методы: визуальное наблюдение, описание, фотофиксация, отбор проб воды на химический анализ, а также проводился ретроспективный анализ состояния карстовых суходолов с использованием картографических материалов, фондовых и опубликованных литературных источников.

Опробование, хранение и транспортировка выполнялись согласно ГОСТ Р 59024-2020 «Вода. Общие требования к отбору проб», ГОСТ 17.1.5.04-81 «Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб и природных вод. Общие технические условия».

Пробы воды для проведения химико-аналитических исследований были отобраны из всех основных источников загрязнения, а также самого суходола при наличии поверхностного течения в различные временные периоды. Пробы для определения общего железа отбирались в емкости из полимерного материала и подкислялись соляной кислотой до рН менее 2 для консервации. Для определения катионов и анионов использовался метод капиллярного электрофореза, сухой остаток изучали гравиметрическим методом, гидрокарбонаты – титриметрическим, микроэлементы – атомно-эмиссионной спектрометрией. Для лабораторного анализа концентрации общего железа применялся фотометрический метод с о-фенантролином 1 водным.

Также были использованы данные, полученные в ходе выполнения мониторинга, осуществляемого с 2006 г. по настоящее время Уральским центром социально-экологического мониторинга углепромышленных территорий, а также в рамках исследовательских работ, проводимых лаборато-

рией геологии техногенных процессов Естественнонаучного института Пермского университета.

Для анализа данных химического состава поверхностных и подземных вод использовались стандартные методы их представления.

Результаты и обсуждения

Для детального исследования был выбран суходол Губашка. Он является правым притоком р. Косьвы и протекает в меридиональном и субмеридиональном направлении с севера на юг по территории КУБ в Губахинском районе (рис. 1). Длина реки составляет 16,5 км (табл. 1). Долина реки расположена вдоль западного крыла Косьвинской антиклинали в районе развития известняков среднего карбона, интенсивно закарстованных на данном участке [7]. На поверхности карст проявляется в виде воронок, котловин, логов.

Таблица 1
Основные характеристики исследуемых водотоков [8]

Река	Длина водотока, км	Площадь водосбора, км ²	Средняя высота водосбора, м	Заболоченность, %	Лесистость, %	Озерность, %	Закарстованность, %
Губашка	16,5	19,2	404	0	85	0	85
Косьва	283	6300	360	<1	78	<1	30

В естественных условиях р. Губашка до сброса в нее КШВ полностью поглощалась карстовой воронкой в 7 км от устья у пос. Старая Половинка, далее, протекая по подрусловым полостям, являлась на этом участке суходолом. В ее долине, по данным Е. А. Кротовой, в 1950-х годах отмечены 20 воронок, приуроченных ко дну и бортам, конусообразной и блюдцеобразной формы, глубиной 0,3 – 7,5 м, диаметром 1 – 21 м [9]. В районе устья р. Губашки наблюдались четыре крупных карстовых источника, дебиты которых тесно связаны с сезонными изменениями величины поверхностного стока и колеблются от 70 до 900 л/сек.

На водосборе р. Губашки осуществлялась добыча угля в шахтах Центральной, им. Серова и Урицкого (табл. 2, рис. 1).

При работе шахт и интенсивных водоотливах КШВ на поверхность в начале происходило их поглощение карстовыми воронками, но уже в начале 1960-х годов в русле р. Губашки на всем протяжении обнаруживался сток до впадения в р. Косьву, что обусловлено процессами коагуляции карстовых полостей осадком, выпадающим из КШВ.

Сброс КШВ вследствие заполнения подрусловых карстовых пустот в долине р. Губашки существенным образом изменил ее естественный водный и химический режимы. Состав шахтных вод сульфатный железисто-алюминиевый натриевый со средним значением минерализации для шахты им. Серова – 1,5 г/л, Центральной – 6,8 мг/л при значении рН 2,5...2,9 (табл. 3).

Данные химического анализа проб воды за 1992 г. показали, что в верховьях вода имела гидрокарбонатный кальциево-натриевый состав с минерализацией 90...131 мг/л. Водородный показатель имел значение 5,8, повышенная кислотность вызвана заболоченностью почв в верховьях водосбора. Воды классифицировались как пресные и ультрапресные, слабокислые. Содержание загрязняющих веществ не превышало нормативных показателей.

После впадения водоотлива шахты им. Серова воды в р. Губашке становились сильнокислые с рН = 2,7 и минерализацией 1088 мг/л, значительно повышалось количество катионогенных компонентов, содержание алюминия 1 мг/л, общего железа – 112 мг/л. Химический анализ пробы воды, отобранной в 1 км ниже слияния с водоотливом шахты им. Серова, показывало, что за счет разбавления относительно чистыми водами притоков состав вод в р. Губашке несколько улучшался. Минерализация вод составляла 206 мг/л, а рН = 4.

Таблица 2

Характеристика источников поступления кислых шахтных вод [7]

Название шахты	Период работы шахты	Объемы водопритоков, м ³ /час	Период затопления	Появление излива, год
Центральная	1907–1996	100...1200	15.05.1986 – 05.1997	1997
Им. Серова	1937– ?	150		
Урицкого	1907–1968	603...278		

Таблица 3

**Химический состав подземных и поверхностных вод при работе шахт
и после их закрытия на территории водосбора р. Губашки**

№	Год	Место отбора	Средний рН	Типичная формула солевого состава по Курлову
1	1992	Р. Губашка, верховье	5,84	$M\ 0,09 \frac{SO_4\ 46\ HCO_3\ 30\ [Cl\ 24]}{Na + Ka\ 36\ Ca\ 33\ Mg\ 27}$ Гидрокарбонатно-сульфатная магниево-кальциево-натриевая ультрапресная
2	1992	Шахта им. Серова	2,7	$M\ 1,07 \frac{SO_4\ 95\ [Cl\ 5]}{Na\ 40\ [Ca\ 17\ Mg\ 9]}$ Сульфатная натриевая слабопресная
3	1992	Р. Губашка, ниже водоотлива шахты им. Серова	2,7	$M\ 1,07 \frac{SO_4\ 95\ [Cl\ 5]}{Na\ 40\ [Ca\ 17\ Mg\ 9]}$ Сульфатная натриевая слабопресная
4	1992	Шахта Центральная	2,77	$M\ 7,7 \frac{SO_4\ 99}{Na\ 32\ [Ca\ 12]}$ Сульфатная железистая соленая
5	1992	Р. Губашка, ниже водоотлива шахты Центральной	2,75	$M\ 5,06 \frac{SO_4\ 99}{Ca\ 17\ [Mg\ 16\ Na\ 5]}$ Сульфатная кальциевая соленая
6	1992	Р. Губашка, устье	2,77	$M\ 1,2 \frac{SO_4\ 99}{Fe\ 35\ Mg\ 29\ Ca\ 28\ [Na + Ka\ 8]}$ Сульфатная железисто-кальциво-магниевая слабопресная
7	2018	Р. Губашка, среднее течение	7,3	$M\ 0,27 \frac{SO_4\ 77\ [HCO_3\ 18]}{Ca\ 78\ [Mg\ 12\ Na + Ka\ 10]}$ Сульфатная кальциевая пресная
8	2018	Р. Губашка, устье	7,0	$M\ 0,55 \frac{SO_4\ 54\ HCO_3\ 45}{Ca\ 69\ [Mg\ 18\ Na + Ka\ 10]}$ Гидрокарбонатно-сульфатная кальциевая пресная
9	2021	Р. Губашка, среднее течение	5,5	$M\ 0,15 \frac{SO_4\ 94\ [HCO_3\ 5]}{Ca\ 73\ [Mg\ 16\ Na\ 11]}$ Сульфатная кальциевая пресная
10	2021	Р. Губашка, нижнее течение (воклюз)	7,0	$M\ 0,28 \frac{SO_4\ 52\ [HCO_3\ 45]}{Ca\ 77\ [Mg\ 17\ Na\ 6]}$ Гидрокарбонатно-сульфатная кальциевая пресная

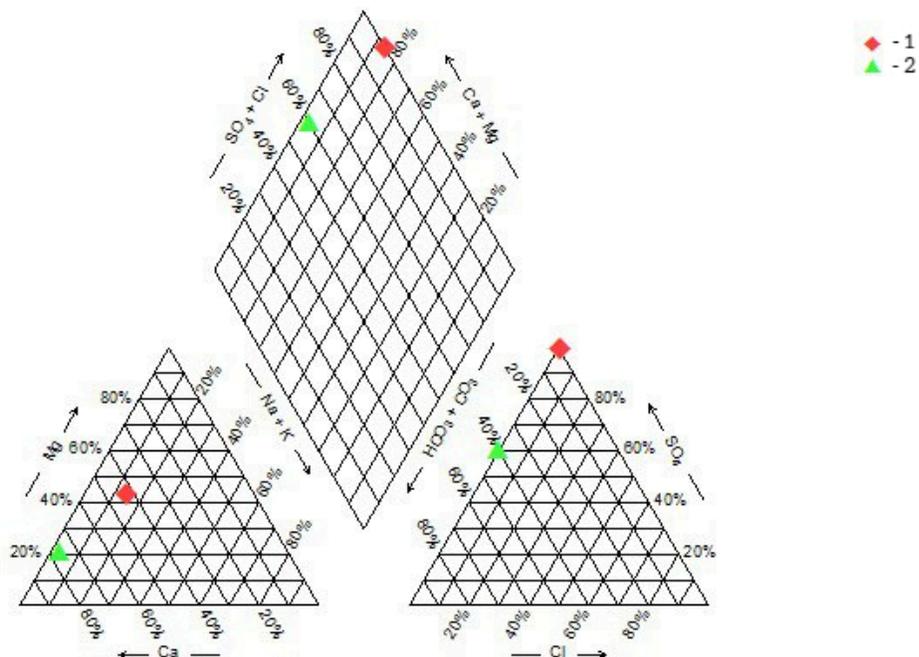
Ниже впадения водоотлива шахты Центральной воды приобретали сильноокислое значение рН – 2,76 и высокую минерализацию – до 5216 мг/л. Ниже по течению от слияния с шахтным водоотливом на протяжении 12 км воды оставалась сильноокислые с рН = 2,7 и с высокими значениями минерализации – 1,2...5,2 г/л. Содержание загрязняющих компонентов во много раз превышало нормативные показатели.

Определенную роль в загрязнении р. Губашки играли расположенные на ее водосборе породные отвалы шахт. Атмосферные осадки, фильтруясь через породы отвалов, приобретают кислую реакцию среды, обогащаясь загрязняющими компонентами, попадали в р. Губашку в виде временных стоков с отвалов и частично с подземными водами. Грунты отвалов химически активны и содержат большое количество водорастворимых компонентов. Для отвалов шахты им. Серова их содержание составляет 31,6 г/кг, сульфатов – 21,8 г/кг, железа – 8,7 г/кг, для шахты Центральной – 24,6 г/кг, сульфатов – 21,3 г/кг, железа – 0,8 г/кг. Состав вытяжки сульфатно-железистый, водородный показатель находится в пределах сильноокислых вод и не превышает 2,5.

После прекращения работы шахт и водоотливов из них, восстановился уровень подземных вод и появились изливы КШВ, но они конструктивно объединены с изливом шахты им. Калинина и попадают на прямую в р. Косьву [10]. В связи с этим на сегодняшний день источниками загрязнения р. Губашки являются лишь стоки породных отвалов шахт, расположенные на ее водосборе (рис. 1). Анализ данных наблюдений за химическим составом стоков за многолетний период показывал, что значительного изменения не произошло. Объем стоков невелик – от 1 до 23 м³/час, но по-прежнему сохраняются высокие показатели содержания загрязняющих компонентов: Fe – до 530 мг/дм³, Al – до 220 мг/дм³, Mn – до 6 мг/дм³, при сильноокислой реакции среды рН = 2...2,6.

Интерпретация данных по химическому составу вод на диаграмме Дурова за 1992 и 2018 годы свидетельствует о том, что в устье реки показатели рН выросли до 7, минерализации снизились с 1205 мг/л до 588 мг/л, содержания железа – с 104 до 0,07 г/л, аналогично и по другим компонентам (рис. 2). Также результаты гидрохимического опробования показали, что после закрытия шахт и в условиях минимизации негативного воздействия воды характеризуются гидрокарбонатно-сульфатным кальциевым (пресным) составом, что характерно для естественных условий.

Обследование р. Губашки, выполненное в июле 2018 г., установило, что в районе пос. Углеуральского обнаружен слабый поверхностный сток в русле после впадения кислых стоков с отвалов шахты им. Серова и Центральной, заметны следы рыжего техногенного осадка, вода в реке слабоокислая, рН = 5,5 (рис. 3).



**Рис. 2. Соотношение основных катионов и анионов в р. Губашке
1 – устье, 1992 г.; 2 – устье, 2018 г.**

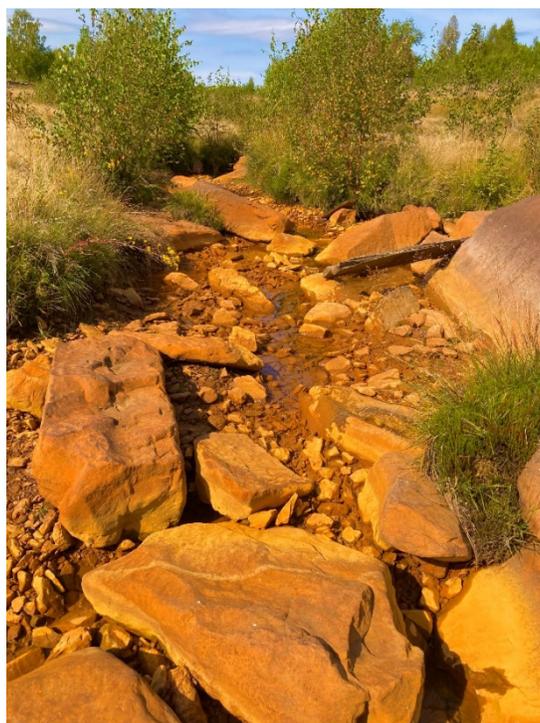


Рис. 3. Техногенный осадок в русле р. Губашки после впадения стоков породных отвалов шахт им. Серова и Центральной

В августе 2021 г. на расстояние 1,2 км от устья в пределах русла р. Губашки был обнаружен выход воды на поверхность в виде небольшого водоема субаквального типа разгрузки (воклюз). Прибрежная часть местами покрыта отложениями рыжего цвета, представленными различными соединениями железа. Русло, шириной около 5 м, на момент проведения наблюдений пересохло (рис. 4).



а



б

Рис. 4. Река Губашка: воклюз (а) и сухое русло (б)

В точке наблюдения в 150 м выше по течению от впадения р. Губашки в р. Косьву характерных негативных проявлений влияния стоков с породных отвалов не зафиксировано, но обнаружено наличие стока (рис. 5).



Рис. 5. Река Губашка, 150 м от устья

При обследовании реки в 2018 и 2021 годах обнаружено появление значительных участков без поверхностного стока, что свидетельствует о процессе промывки карстовых подрусловых полостей и возвращении к естественному состоянию – суходолу.

Заключение

Сброс кислых шахтных вод и стоки породных отвалов в период работы шахт привел к преобразованию естественного стока и гидрохимического режима на исследуемой территории.

В естественных условиях р. Губашка на большей своей длине являлась карстовым суходолом, воды в истоке характеризовались как гидрокарбонатно-сульфатные магниево-кальциево-натриевые ультрапресные.

Во время работы шахт состав вод формировался в значительной степени за счет сброса кислых сульфатно-железисто-алюминиевых сточных вод шахт им. Серова и Центральной. В связи с этим воды в реке на протяжении всего течения, начиная с впадения в нее КШВ, характеризовались высокой минерализацией до 5,6 г/л и кислой реакцией среды $pH=2...3$, содержание различных микроэлементов превышало нормативные показатели, происходила закупорка подрусловых полостей, также обнаруживался поверхностный сток. Следует отметить негативное влияние р. Губашки на качество вод р. Косьвы. Данные химических анализов проб воды, показывали, что в 30 м ниже впадения в р. Косьву ее воды становятся сильнокислыми – $pH=2,32...2,60$, резко увеличивалась минерализация, повышается содержания остальных загрязняющих компонентов.

После закрытия шахт и прекращения поступления водоотливов ситуация значительно улучшилась. В результате выноса техногенных осадков из подрусловых карстовых полостей р. Губашка вновь превратилась в карстовый суходол. Воды вернулись к естественному гидрокарбонатно-сульфатному составу, однако в связи с тем, что на территории водосбора реки расположены породные отвалы, которые являются источником поступления загрязнителей, происходит незначительное загрязнение вод суходола. Для окончательного восстановления реки необходимо провести рекультивацию отвалов, расположенных на ее водосборе.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Пермского научно-образовательного центра «Рациональное недропользование», 2023 г.

Список литературы

1. Pattern and degree of groundwater recharge from river leakage in a karst canyon area under intensive mine dewatering / H. Huang [and others] // Science of the Total Environment. 2021. Vol. 774. ID 144921. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144921>.
2. Effect of coal mine waters of Nordrhine-Westpalia in groundwater / G. Matess, R. Otting, M. Schulz, H. Werner // Jans Publications. 1982. Vol. 139. P. 271–278.
3. Effect of acid mine drainage on a karst basin: a case study on the high-As coal mining area in Guizhou province / X. Tao [and others] // China. Environmental Earth Sciences. 2012. Vol. 65. P. 631–638. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1110-0>.
4. Groundwater hydrogeochemical processes and the connectivity of multilayer aquifers in a coal mine with karst collapse columns / H. Zhang [and others] // Water Environment, 2020. Vol. 39. P. 356–368. <https://doi.org/10.1007/s10230-020-00667-w>.
5. Геология угольных месторождений СССР. М.: Изд-во МГУ, 1990. 352 с.
6. Карст и пещеры Пермской области / К.А. Горбунова, В.Н. Андрейчук, В.П. Костарев, Н.Г.Максимович. Пермь: Изд-во Пермского университета, 1992. 200 с.
7. Красавин А.П., Сафин Р.Т., Экологическая реабилитация углепромышленных территорий Кизеловского угольного бассейна в связи с закрытием шахт. Пермь: Звезда, 2005. 287 с.
8. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики рек бассейна Камы / под ред. В.Ю.Георгиевского. Пермь, 135 с. [Электронный ресурс].
9. Кротова Е.А., Карстовые формы рельефа // Ученые записки: Геология и география. 1956. Т. 10. Вып. 2. С. 5 – 10.
10. Максимович Н. Г., Пьянков С. В. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения: монография. Пермь, Перм. гос. нац. исслед. ун-т. 2018. 288 с.

Максимович Николай Георгиевич, канд. геол.-мин. наук, доц., зам. директора по научной работе, nmax@psu.ru, Россия, Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет,

Березина Ольга Алексеевна, канд. геогр. наук., ст. науч. сотр., berezina.olga16@gmail.com, Россия, Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет,

Мещерякова Ольга Юрьевна, канд. техн. наук, проректор, доц., вед. науч. сотр., olgam.psu@gmail.com, Россия, Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет

**TRANSFORMATION OF THE KARST DRY VALLEY UNDER THE INFLUENCE
OF ACID MINE WATER OF THE KIZEL COAL BASIN**

N.G. Maksimovich, O.A. Berezina, O.Yu. Meshcheriakova

Mining operations have an impact on unique karst landscapes and river systems, modifying them and deteriorating ecological indicators. The purpose of the study was to assess the impact of economic activities associated with the development of a coal deposit on the karst upland. The object of the study was the dry karst Gubashka of the Kosva River basin in the Kizel coal basin (Perm Region), exposed to acid mine waters. The study used visual observation, description, photographic recording, water sampling for chemical analysis, a retrospective analysis of the state of karst dry valleys was carried out using cartographic and stock materials. The discharge of acidic mine waters into the studied landforms caused a sharp change in the hydrodynamic and hydrochemical conditions. The interaction of acidic mine and natural neutral or slightly alkaline waters leads to a decrease in the pH value and the precipitation of technogenic sediment in the form of hydroxides, as well as other iron and aluminum compounds enriched with trace elements. The filling of karst under-channel cavities and funnels with sediment causes the transformation of the upland into a river system with the appearance of surface runoff. For the Gubashka dry valley, where it continues to be polluted by acidic runoff from rock dumps, a set of environmental measures is needed.

Key words: Kizel coal basin, karst, karst dry valley, acid main drainage, aquatic ecosystems.

Maksimovich Nikolay Georgievich, candidate of geology sciences, docent, deputy director of Institute, nmax@psu.ru, Russia, Perm, Perm State National Research University,

Berezina Olga Alekseevna, candidate of geography sciences, senior researcher, berezina.olga16@gmail.com, Russia, Perm, Perm State National Research University,

Meshcheriakova Olga Yurevna, candidate of technical sciences, vice-rector, docent, senior researcher, olgam.psu@gmail.com, Russia, Perm, Perm State National Research University

Reference

1. Pattern and degree of groundwater recharge from river leakage in a karst canyon area under intensive mine dewatering / H. Huang [and others] // *Science of the Total Environment*, 2021. Vol. 774. ID 144921. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144921>.
2. Effect of coal mine waters of Nordrhine-Westpalia in groundwater / G. Matess, R. Otting, M. Schulz, H. Werner // *Jans Publications*, 1982. Vol. 139. Pp. 271-278.
3. Effect of acid mine drainage on a karst basin: a case study on the high-As coal mining area in Guizhou province / X. Tao [and others] // *China. Environmental Earth Sciences*, 2012. Vol. 65. pp. 631-638. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1110-0>.

4. Groundwater hydrogeochemical processes and the connectivity of multilayer aquifers in a coal mine with karst collapse columns / H. Zhang [and others] // *Water Environment*, 2020. Vol. 39. pp. 356-368. <https://doi.org/10.1007/s10230-020-00667-w> .

5. *Geology coal deposits of the USSR*. M.: Publishing House of Moscow State University, 1990. 352 p.

6. *Karst and caves of the Perm region* / K.A. Gorbunova, V.N. Andreychuk, V.P. Kostarev, N.G.Maksimovich // Publishing House of Perm University, Perm. 1992. 200 p.

7. Krasavin A.P., Safin R.T., *Ecological rehabilitation of coal-industrial territories of the Kizelovsky coal basin in connection with the closure of mines* // *Zvezda*, Perm. 2005. 287 p.

8. *Scientific and applied reference book: Basic hydrological characteristics of the rivers of the Kama basin* / edited by V.Y. Georgievsky. Electronic resource. 135 p.

9. Krotova E.A., *Karst relief forms*. Scientific notes: *Geology and Geography*. 1956. Vol. 10. Issue. 2. pp. 5-10.

10. Maksimovich N. G., Pyankov S. V. *Kizelovsky coal basin: environmental problems and solutions: monograph*. Perm, Perm. state. national. research. un-T. 2018. 288 p.