

ВЛИЯНИЕ ЛИКВИДИРОВАННОГО КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РЕЧНЫХ ВОД

Н. Г. Максимович, О. А. Березина

Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета. Россия, Пермь, e-mail: nmax@psu.ru; berezina.olga16@gmail.com

Аннотация: Закрытие угольных шахт обычно связано с рядом экологических проблем. Одна из них негативное воздействие на речные системы региона. Оцениваются гидроэкологические особенности бассейна реки Яйва, расположенного на территории Кизеловского угольного бассейна. Выявлены основные негативные последствия антропогенного воздействия от изливов шахт, кислых стоков с отвалов и родников на водоток реки Яйва.

Ключевые слова: угольный бассейн, кислые шахтные воды, стоки с отвалов, техногенные донные отложения, нейтрализация кислых вод

Введение. Ликвидированный в начале этого века Кизеловский угольный бассейн (КУБ), расположенный на западном склоне Урала, является фактически зоной экологического бедствия (рис. 1).

Добыча угля в КУБе велась с 1783 г. подземным способом и осложнялась из-за сильной обводненности закарстованных известняков надугольной толщи (Maximovich, Gorbunova, 1990, Khayrulina. al., 2016). Наблюдались значительные водопритоки в шахты 1000–2500 м³/ч и более. В горных выработках природные воды взаимодействовали с богатыми сульфидной серой горными породами (до 10 %) и преобразовывались в кислые (рН 2–3) сульфатные железо-алюминиевые натриево-кальциевые воды. В ходе эксплуатации минерализация могла возрастать до 35 г/л, также наблюдалось высокое содержание железа, алюминия, марганца, бериллия, никеля и др.

Ликвидация шахт, закончившаяся в начале 2000-х не решила экологических проблем (Maximovich, al., 2017). После восстановления уровня подземных вод сформировались изливы кислых шахтных вод дебиты которых значительно меньше чем во время работы бассейна, тем не менее наносящие значительный ущерб окружающей среде, это характерно для всех шахт, ликвидированных при помощи затопления (Tarasenko, al., 2016). В их химическом составе так же обнаруживается содержание железа, алюминия, марганца бериллия в сотни и тысячи раз превышающее ПДК_{хп} при рН 2–3. По данным некоторых авторов изливы могут существовать более 100 лет (как это наблюдается на некоторых, давно закрытых, шахтах КУБа), а их химический состав может представлять угрозу для окружающей среды (Demchak. al., 2004, Petty, al., 2004).

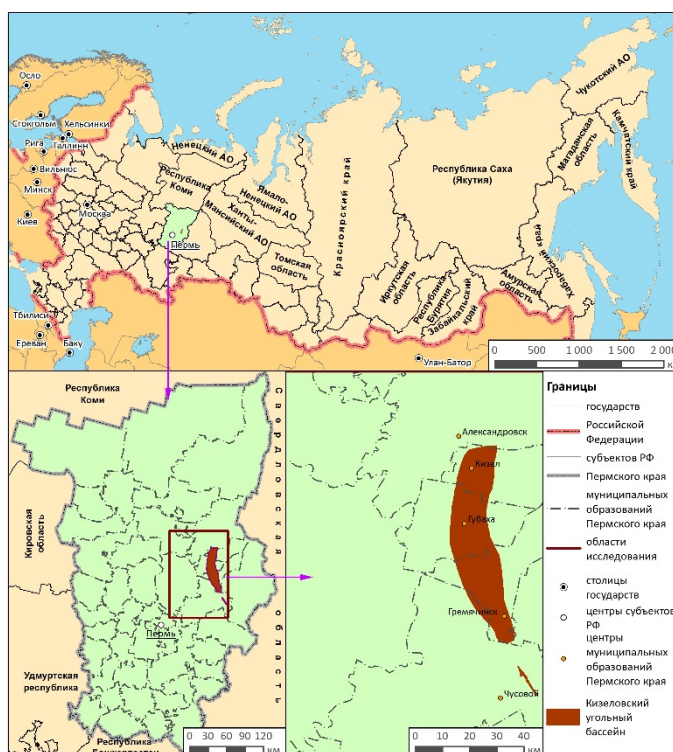


Рис. 1. Местоположение Кизеловского угольного бассейна

При попадании кислых шахтных вод в естественные водотоки, Fe²⁺ при повышении рН переходит в Fe³⁺, далее происходит образование и осаждение техногенного осадка, состоящего в основном из гидроокислов железа и алюминия с высоким содержанием микроэлементов, который оказывает резко отрицательный эффект на водную экосистему (Юргенсон, 2005, Powell, 1988, Siddharth. al., 2002, Tao. al., 2012, Tiwary, Dhar, 1994, Wright, al., 2018).

Вклад в ухудшение экологической ситуации вносят породные отвалов, объем только учтённых составляет более 21 000 тыс.м³. Стоки образующиеся в результате взаимодействия атмосферных осадков с горными породами отвала, по химическому составу близки к шахтным водам, встречаются превышения по железу – до 6000 ПДК_{хп}, алюминию до 11000 ПДК_{хп}, марганцу до 880 ПДК_{хп}, показатель рН стабильно менее 3. Наиболее интенсивно они формируются во время обильных дождей или весеннего снеготаяния.

КУБ имеет развитую гидрографическую сеть. Реки отличаются сравнительно высокой водностью в течение всего года, что объясняется большим количеством осадков (800–1000 мм) и незначительной величиной испарения. Влиянию от деятельности ликвидированного угольной промышленности подвержены три бассейна крупных левобережных притоков Камского водохранилища: рек Яйвы, Косьвы, Чусовой.

Бассейн р. Яйвы является наиболее типичным для района КУБа. Именно поэтому он был выбран в качестве модельного объекта для исследования.

Материалы и методы. Река Яйва берет начало в горах Северного Урала (хр. Кваркуш), впадает в Камское водохранилище на 879 км от устья, образуя Яйвинский залив. Большая часть бассейна р. Яйва находится за пределами территории Кизеловского угольного бассейна, в его пределах расположена только юго-восточная часть водосбора р. Яйвы. В непосредственной близости к ранее разрабатываемому месторождению протекает р. Сев. Вильва, которая является притоком 1 порядка р. Яйва. Практически все источники загрязнения, связанные с добычей угля, расположены на водосборе правого притока р. Сев. Вильва – **р. Бол. Кизел**. Река Бол. Кизел и ее притоки вследствие длительного влияния на них шахтных вод являются загрязненными (рис. 2). Среди притоков р. Бол. Кизел только на водосборе р. Сев. Кизел отсутствуют источники загрязнения, поэтому наблюдения за гидрохимическим составом ее вод не выполняются. Загрязненные воды р. Бол. Кизел оказывают негативное воздействие на р. Сев. Вильва, в которую впадают.

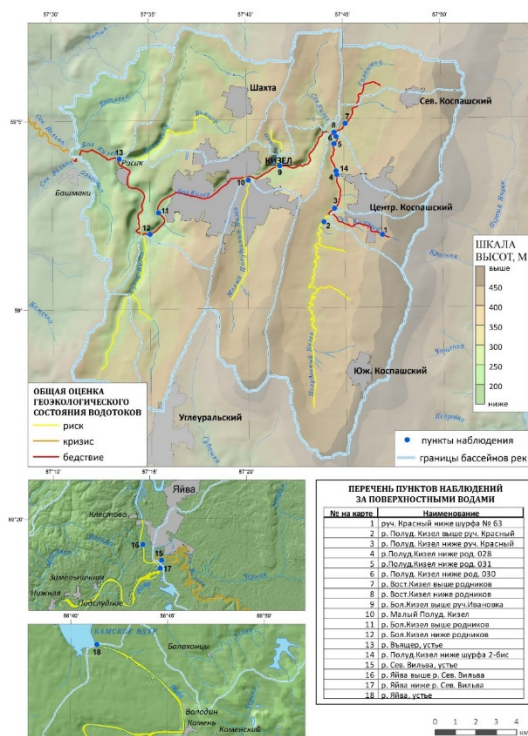


Рис. 2. Общая гидроэкологическая оценка состояния водотоков и пункты наблюдения

На водосборе р. Яйва присутствуют три основных источника загрязнения поверхностных вод: изливы шахтных вод, загрязненные родники и стоки с породных отвалов. В бассейне этой реки закартированы 7 самоизливов шахтных вод, 13 родников (из которых 7 загрязнены), 24 породных отвалов.

Системой мониторинга поверхностных вод КУБа, проводимого «Уральским центром социально-экологического мониторинга углепромышленных территорий», предусмотрены регулярные наблюдения за составом вод р. Яйва на всём ее протяжении. Результаты исследований, свидетельствуют о наличии негативного влияния КУБа на воды р. Яйвы и ее притоков, которое прослеживается вплоть до впадения в Камское водохранилище. При анализе экологического состояния поверхностных водных объектов использовались нормативы для рыбохозяйственных водоемов – предельно допустимые концентрации (далее – ПДК_{рх}). Так же был рассчитан удельный комбинаторный индекс загрязненности (УК ИЗВ) воды по действующему руководящий документ 52.24.643-2002. На основе значений УК ИЗВ поверхностные воды делятся на 5 классов в зависимости от их загрязненности.

Регламентирующий качество поверхностных вод прочего назначения, а также подземных вод, документ ГН 2.1.5.1315-03, (далее – ПДК_{хп}) использовался для оценки загрязнения подземных вод (родников), состава вод, изливающихся из шахт и стекающих с отвалов. Выполнена общая оценка гидроэкологического состояния (риск, кризис, бедствие) рек на основе методики (Erina. al., 2017).

Результаты и обсуждения. По результатам расчёта УК ИЗВ за 2013 год по 14 компонентам степень загрязнённости воды в анализируемых створах колебалась от грязной (4 класс «а») до слабозагрязнённой. По этому показателю было выделено несколько градаций общего гидроэкологического состояния водотоков: норма, риск, кризис, бедствие (рис. 2).

Наибольшую долю в общую оценку степени загрязнённости воды вносят соединения железа, алюминия, бериллия, лития, марганца, что относит их к критическим показателям. Наибольшие превышения ПДК_{рх} наблюдаются на р. Полуденный Кизел: Fe – 9450, Al – 639, Mn – 1118, Be – 56. Загрязнение поверхностных вод происходит по цепочке рек: Полуденный Кизел, Б. Кизел, С. Вильва, Яйва, вплоть до Камского водохранилища. Особое внимание стоит уделить бассейну р. Б. Кизел, на территории которого располагается основная часть источников загрязнения.

Река Бол. Кизел начинается от места слияния рек Полуденный Кизел и Вост. Кизел, её протяжённость составляет около 20 км. На своем пути река принимает воды семи малых рек, из которых только одна (р. Сев. Кизел) не испытывает последствий разработки КУБа. Притоки приносят в р. Бол. Кизел огромное количество загрязнителей. Кроме того, сама р. Бол. Кизел находится под воздействием кислых стоков с породных отвалов и самоизливов шахтных вод. На всем протяжении русло р. Бол. Кизел каменистое и покрыто техногенным осадком (рис. 3).



Рис. 3. Русло р. Бол. Кизел

Для составления характеристики источников загрязнения, влияющих на р. Бол. Кизел и его притоков, проанализированы данные по излиям шахтных вод и стокам с породных отвалов. Основные характеристики самоизливов представлены в таблице.

Объемы изливов шахтных вод в р. Бол. Кизел и его притоки

Место излива шахтной воды	Река	Средний расход, м ³ /час	Максимальный расход, м ³ /час	Минимальный расход, м ³ /час
Вспом. ствол шахты им. Ленина	Бол. Кизел	21,2	86,0	5,0
Ствол 8 шахты им. Ленина	Бол. Кизел	268,0	587,0	94,0
Штольня шахты им. Володарского	Бол. Кизел	13,4	40,0	1,0
Шурф 2-бис шахты Коспашская	Полуденный Кизел и руч. Красный	165,5	337,0	42
Шурф 63 шахты Белый Спой	р. Полуденный Кизел и руч. Красный	59,7	147,0	22,0
Итого		527,8	1197	164

Суммарный объем шахтных вод, изливающихся непосредственно в р. Бол. Кизел (не считая водосбора притоков) в среднем составляет 302 м³/час, при этом 89 % загрязненных шахтных вод изливаются из ствола шахты им. Ленина (рис. 4, 5). Максимальный зафиксированный расход излива на этой шахте измеряется значительной величиной – 587 м³/час.

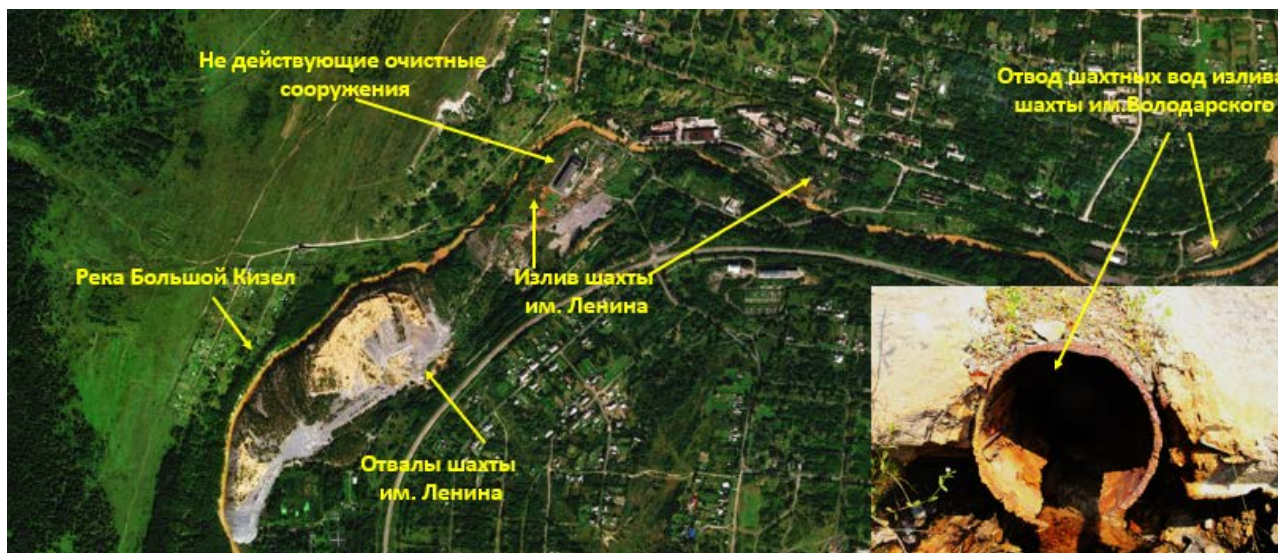


Рис. 4. Река Большой Кизел в районе шахт им. Ленина и Володарского

Для изливающихся на поверхность шахтных вод характерна кислая реакция среды (рН 3–4), сульфатный состав, очень высокие концентрации ряда микроэлементов, прежде всего железа, алюминия, марганца, бериллия, содержание которых превышает ПДК_{хп} в сотни и тысячи раз.

В среднем за год непосредственно в р. Бол. Кизел (не считая загрязненных притоков) поступает почти 15300 тонн сульфатов, 6000 тонн железа, 400 тонн алюминия, 57 тонн марганца; количество других загрязнителей значительно меньше (рис. 5).

Наблюдения за объемом и составом сточных вод, стекающих с породных отвалов проводятся на 15 точках. Максимальные величины объема стоков с отвалов наблюдаются на шахтах им. Володарского и Коспашская, составляют 20 и 22 м³/час соответственно.

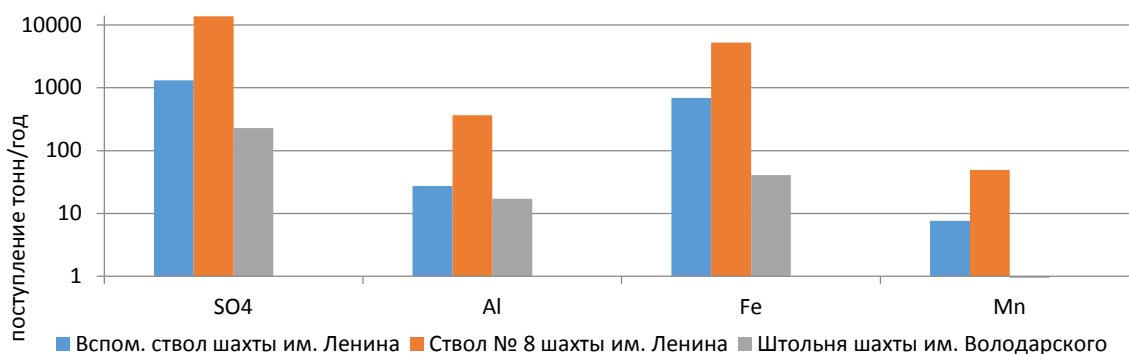


Рис. 5. Поступление загрязнителей с изливами на водосбор р. Бол. Кизел (без учета притоков)

Стоки с отвалов характеризуются очень высоким содержанием загрязняющих веществ и кислой реакцией среды (рН меньше 3). В результате инфильтрации атмосферных осадков из породных отвалов в больших концентрациях в воды поступает железо, алюминий, бериллий и марганец. Их содержание в сточных водах с отвалов превышает ПДК_{хп} в сотни и тысячи раз, что приводит к деградации ландшафтов. В меньшем количестве, но также повсеместно, обнаруживаются тяжелые металлы (кадмий, кобальт, никель). Эпизодически в пробах

воды с отвалов встречаются свинец и цинк, превышение по которым составляет от 2 до 70 ПДК_{хп}.

Наибольшей степенью загрязненности отличаются стоки с конусного и плоского отвалов шахты Коспашская. В стоках с конусного отвала содержание основных загрязнителей шахтных вод измеряется огромными величинами: железо – 2083–6157 ПДК_{хп}, алюминий – 5245–10955 ПДК_{хп}, марганец – 250–880 ПДК_{хп}, показатель рН – стабильно менее 3,0.

Таким образом, р. Яйва испытывает воздействие источников загрязнения, размещенных на ее водосборе, несмотря на то, что эти источники удалены на десятки километров и ограничены местными водоразделами. Негативное влияние их осуществляется через приток – р. Сев. Вильва. Цвет воды р. Яйвы заметно изменяется после впадения в неё р. Сев. Вильва (рис. 6).



Рис. 6. Место впадения р. Сев. Вильвы в р. Яйву

(1 – р. Яйва до впадения р. Сев. Вильвы; 2 – р. Яйва после впадения р. Сев. Вильвы; 3 – р. Сев. Вильва)

Ниже места впадения р. Сев. Вильва концентрации железа, алюминия, марганца возрастают. В устьевой части р. Яйва их количество снижается, но не достигает уровня фонового створа (выше устья р. Сев. Вильва) и остается выше ПДК_{рх}.

Таким образом, реки, протекающие по территории КУБа существенно изменяют свой облик. Трансформируется химический состав речных вод. Основную роль в питании, особенно малых рек, занимают воды шахтных изливов. Донные отложения многих рек и прудов представляют собой техногенные осадки, имеющие кислую реакцию среды и большое количество железа, алюминия, сульфатов и тяжёлых металлов, в результате чего они являются источниками вторичного загрязнения. В таких условиях биотические компоненты рек на отдельных участках практически отсутствуют или находятся в крайне угнетённом состоянии. Можно говорить, что малые реки полностью теряют свой природный облик и представляют собой новые техногенные образования.

В настоящее время разрабатываются природоохранные мероприятия по снижению интенсивности загрязнения на основе создания искусственных геохимических барьеров (Alekseenko, al., 2017), определяются оптимальные участки для их размещения. Учитывая масштабы загрязнения, требующие значительные материальные вложения, отдается предпочтение пассивным методам защиты с использованием карбонатных пород (Skousen. al., 2017), которые широко распространены и разрабатываются на территории КУБа.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 17-45-590793 р_а.

Список литературы

1. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования от 30 апреля 2003 года № 78.
2. Ерина О. Н, Ефимова Л. Е., Заславская М. Б. Использование параметризации характеристик качества воды для диагностики возникновения изменений экологического состояния рек // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: экологические вызовы XXI века: труды III междунар. конф. Казань: АН РТ, 2017. С. 33-36.
3. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».
4. Руководящий документ 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по

гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеоздат, 2002. 49 с.

5. Юргенсон Г. А. Геохимия ландшафта. Чита: Изд-во Заб ГПИУ. 2005. 158 с.
6. Alekseenko, V. A., Maximovich, N. G., Alekseenko, A. V. (2017) Geochemical Barriers for Soil Protection in Mining Areas. In: Bech, J., Bini, C., Pashkevich, M. A. (eds.), Assessment, Restoration and Reclamation of Mining Influenced Soils, Elsevier Inc. P. 255–274.
7. Demchak J., Skosen J., McDonald L. Distribution and behavior of heavy metals in a river polluted by acid mine drainage in the Dabaoshan mine area, China // *J Environ. Qual.*, 2004, 33(2). P. 656-668.
8. Khayrulina E. A., Khmurchik V. T., Maksimovich N. G. The Kizel Coal Basin (the Western Urals, Russia): Environmental problems and Solutions // *Mining Meets Water – Conflicts and Solutions. Proceedings IMWA2016 Annual Conference, Leipzig, Germany.* – Leipzig, Germany, 2016. P. 761-767.
9. Maksimovich N. G., Gorbunova K. A. Geochemical aspects of the geological medium changes in coal fields *H* Proceeding 6 Int. Congress Int. Ass. of Engineering Geology. A.A. Balkema. Rotterdam, 1990. P. 1457-1461.
10. Maksimovich N. G., Pyankov S. V., Khayrulina E. A. Environmental assessment of closed coal mine territory using GIS analysis // *Mine Water and Circular Economy, 2017, IMWA (Lappeenranta, Finland)*. P. 212-217.
11. Petty J. T., J. Barker. Water quality variability in tributaries of the Cheat River, a mined Appalachian watershed// *Proceedings of the American Society of Mining and Reclamation, 2004*. 15. P. 1-21.
12. Powell J. D. Origin and influence of coal mine drainage on streams of the United States// *Environ Geol Water Sci*, 1988. 11. P. 141-152.
13. Siddharth S., Jamal A., Dhar B. B., Shukla R. Acid-base accounting: a geochemical tool for management of acid drainage in coal mines// *Mine Water Environ*, 2002. 21. P. 106-110.
14. Skousen, J., Zipper, C. E., Rose, A. et al. *Mine Water Environ* (2017) 36: 133. <https://doi.org/10.1007/s10230-016-0417-1>.
15. Tarasenko I. A. [et al.] Groundwater composition fluctuation within technogenic zones (case study: flooded coal mines in Primorsky Krai, Russia) [Electronic resource] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2016. Vol. 33 : Contemporary Issues of Hydrogeology, Engineering Geology and Hydrogeocology in Eurasia. [012013, 6 p.].
16. Tao X., Wu P., Tang C. et al. Effect of acid mine drainage on a karst basin: a case study on the high-As coal mining area in Guizhou province, China// *Environ Earth Sci.*, 2012, 65. P. 631. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1110-0>.
17. Tiwary R. K., Dhar B. B. Environmental pollution from coal mining activities in Damodar River Basin, India // *Mine Water Environ*, 1994. 13(3-4). P 1-9.
18. Wright I. A., Paciuszkiewicz K. & Belmer, N. Increased Water Pollution After Closure of Australia's Longest Operating Underground Coal Mine: a 13-Month Study of Mine Drainage, Water Chemistry and River Ecology *Water/Air Soil Pollut*, 2018.

INFLUENCE OF CLOSED KIZEL COAL BASIN ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF RIVER WATERS

N. G. Maksimovich, O. A. Berezina

*Institute of Natural Science of Perm State National Research University,
Russia, Perm, e-mail: nmax@psu.ru, e-mail: berezina.olgal6@gmail.com*

Abstract: Coal mines closure is usually associated with a list of environmental problems and one of them is their negative impact on a region's river system. Hydroecological features of the Yaiva river basin located on the Kizel coal basin territory have been assessed. This river basin is typical for the Kizel coal basin territory that is why it has been taken as a model to verify the research algorithms. Further these algorithms will be applied for the investigation of other rivers running the Kizel coal basin territory. The main negative consequences of anthropogenic impact on the Yaiva river basin watercourse have been revealed.

Keywords: coal basin, acid mine water, technogenic bottom deposits, neutralization of acid waters