

Copyright © 2014 by Academic Publishing House *Researcher*



Published in the Russian Federation
European Researcher
Has been issued since 2010.
ISSN 2219-8229
E-ISSN 2224-0136
Vol. 86, No. 11-1, pp. 1978-1992, 2014

DOI: 10.13187/er.2014.86.1978
www.erjournal.ru



Geosciences

Науки о Земле

UDK 504.064

The Chemical Composition of Surface Waters of Technogenically Affected Geo-Systems in the Eastern Donbas Region*

¹ Olga S. Reshetnyak

² Anatoly M. Nikanorov

³ Vladimir Ye. Zakrutkin

⁴ Yevgeny V. Gibkov

¹ Institute of Earth Sciences of Southern Federal University, Russian Federation
344090, Rostov-on-Don, Zorge Str., 40
PhD in Geography, Senior Researcher
E-mail: olgare1@rambler.ru

² Hydrochemical Institute of Hydrometeorology, Russian Federation
344090, Rostov-on-Don, Av. Strikes, 198
Corresponding Member of the RAS, Chief Researcher
Institute of Earth Sciences of Southern Federal University, Russian Federation
344090, Rostov-on-Don, Zorge Str., 40
Professor
E-mail: ghi6@aanet.ru

³ Institute of Earth Sciences of Southern Federal University, Russian Federation
344090, Rostov-on-Don, Zorge Str., 40
PhD in Geological and Mineralogical Sciences, Professor
E-mail: vezak@list.ru

⁴ Institute of Earth Sciences of Southern Federal University, Russian Federation
344090, Rostov-on-Don, Zorge Str., 40
Lecturer
PhD in Geography
E-mail: irvict@mail.ru

* The study was performed by a Grant from the **Russian Science Foundation** (project № 14-17-00376).

Abstract

Based on an analysis of literary data and the author's own research findings, the paper assesses the factors in the formation of the chemical composition of surface and subterranean waters and the variability of the chemical composition and quality of river waters in the eastern

Donbas region. The author illustrates that the major negative effect of the impact of technogenic waters on river waters is salinization. The paper points up a high level of pollution in river waters with a broad spectrum of metal compounds, among which the biggest threat comes from Fe_{gen}, Al, Mn, Cu, and Sr, which is of a steady nature. The quality of water in the majority of rivers in the eastern Donbas region is evaluated as Quality Class 4 – dirty and/or very dirty. The findings can be used in resolving a whole array of scientific and applied objectives related to assessing the migration of chemical substances and the level of pollution in surface and subterranean waters and forecasting the condition of water sites and the quality of water, as well as in carrying out water-protection activities in the region.

Keywords: Rivers of the Eastern Donbass, chemical composition of water, water quality

Введение

Угольная промышленность считается одним из наиболее мощных факторов антропогенного преобразования окружающей среды. Природные геосистемы в пределах углепромышленных территорий на протяжении многих десятилетий подвергался интенсивному техногенному воздействию. Осложнение экологической ситуации происходило в период разработки угольных месторождений и усилилось в период реструктуризации угольной промышленности (начавшийся в 90-е годы процесс закрытия нерентабельных шахт).

Основные геоэкологические проблемы территорий угледобычи в настоящее время хорошо известны – подъем уровня подземных вод, подтопление и заболачивание территорий; ухудшение качества поверхностных и подземных вод; выделение из выработок токсичных и взрывоопасных газов; активизация микросейсмических явлений; вывод из хозяйственного использования значительных площадей вследствие размещения на них отходов горнорудного производства и их негативное воздействие на окружающую среду. Отрицательные воздействия угледобычи очень специфичны по своим геохимическим проявлениям в природных средах, поэтому требуют детальных и комплексных исследований [1, 2].

Восточный Донбасс – это один из угледобывающих регионов России. Угленосная площадь составляет более 30 тыс. км² и включает шесть угленосных районов: Каменско-Гундоровский, Белокалитвинский, Тацинский, Шахтинско-Несветайский, Гуково-Зверевский и Сулино-Садкинский. Следует отметить, что большая часть (73%) территории угленосной зоны до сих пор не разведана и может содержать значительные балансовые запасы особенно на больших глубинах (более 1,5 км по вертикали) [1].

Геохимическая специфика данного региона определяется наличием в его пределах каменноугольных месторождений (являющихся природной геохимической аномалией) и последствий интенсивной разработки ископаемого угля с соответствующими негативными экологическими последствиями.

Территория Восточного Донбасса в пределах Ростовской области характеризуется наибольшей плотностью горнодобывающих предприятий. Здесь сосредоточены как угольные шахты, так и карьеры для добычи огнеупорных и тугоплавких глин, глин для кирпичного сырья, глинистых сланцев, песчаников, известняков.

Добыча и переработка угля сопровождаются поступлением огромных объемов шахтных (карьерных) вод и формированием отвалов горных пород, отчуждающих большие территории и являющихся источниками загрязнения окружающей среды. С увеличением времени эксплуатации угольных месторождений минерализация шахтных вод обычно растет, при этом может меняться их химический состав. Наибольшую экологическую опасность представляют кислые шахтные воды, формирующиеся непосредственно в горной выработке, поскольку являются источником загрязнения водосборных территорий тяжелыми металлами [2].

Значительные выбросы в атмосферу загрязняющих веществ (оксидов азота, серы, углерода, пыли и углеводородов) могут поступать в поверхностные воды в виде кислотных выпадений, а также изменять кислотно-щелочные условия миграции элементов в водной среде. При совместном воздействии атмосферных выпадений и кислых шахтных вод происходит изменение кислотно-щелочной обстановки в сторону подкисления среды, а мигрирующие с высокой концентрацией во взвеси тяжелые металлы при этом переходят из

взвешенного состояния в раствор, в результате чего их концентрация в поверхностных водах будет значительно превышать ПДК.

Среди перечисленных выше экологических проблем углепромышленных территорий именно ухудшение гидроэкологической обстановки заслуживает особого внимания, поскольку поверхностные и подземные воды, находящиеся в тесном взаимодействии, являются наиболее уязвимыми компонентами окружающей природной среды. Особенно малые реки практически полностью утратили свои природные функции. Стало невозможным использование их вод не только для питьевых нужд населения, но и для хозяйственных целей.

Материалы и методы исследования

Исследование факторов формирования и изменчивость химического состава поверхностных и подземных вод и оценка их качества в пределах техногенно нарушенных геосистем углепромышленных территорий Восточного Донбасса проведено на основе анализа литературных данных и результатов исследований авторов.

Материалы исследования – многолетняя режимная гидрохимическая информация Государственной службы наблюдений (ГСН) за состоянием и загрязнением окружающей среды Росгидромета.

Оценка качества поверхностных вод проводится по гидрохимическим показателям согласно принятой в системе Росгидромета комплексной методике [3], которая позволяет оценить загрязненность водной среды одновременно по широкому перечню ингредиентов и показателей качества воды и классифицировать водную среду от «условно чистой» (I-й класс качества воды) до «экстремально грязной» (V-й класс качества воды).

Метод расчета комплексных показателей дает возможность формализовать процессы анализа, обобщения, оценки аналитической информации о химическом составе воды и трансформировать её в относительные показатели, комплексно оценивающие степень загрязненности и качества воды водных объектов. При этом перечень гидрохимических показателей качества воды, по которым проводится оценка, включает наиболее характерные для большинства водных объектов на территории России соединения: растворенный в воде кислород, хлориды, сульфаты, органические вещества (по ХПК и БПК₅), азот нитритный, азот нитратный и азот аммонийный, нефтепродукты, фенолы, соединения железа, меди, цинка, никеля и марганца [3].

В оценку могут быть включены и другие специфические загрязняющие вещества, которые имеют локальное распространение и характерны для определенных водных объектов на различных территориях (ртуть, кадмий, свинец, мышьяк, бор, фтор, алюминий, формальдегид, анилин, метилмеркаптан, сульфиды и сероводород, хлор- и фосфорорганические пестициды и др.).

По результатам оценки приводятся не только класс качества воды и степень ее загрязненности, но и выделяются характерные загрязняющие вещества, те которые имеют повторяемость превышений ПДК от 50 до 100 %, и критические показатели загрязнения (КПЗ) воды, те соединения, высокие концентрации которых переводят класс качества воды из категории «грязная» в более худшую степень загрязненности [3].

Обсуждение

1. Формирование химического состава поверхностных вод в пределах техногенно нарушенных геосистем Восточного Донбасса

Как известно, основными факторами, определяющими формирование химического состава природных вод (поверхностных и подземных), являются физико-географические (рельеф, климат, испарение, выветривание, почвенный покров), геологические (состав горных пород, тектоническое строение, гидрогеологические условия), физико-химические (химические свойства элементов, кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные условия, смешение вод и катионный обмен), биологические (деятельность растений и живых организмов) и искусственные (или антропогенные, связанные с деятельностью человека) факторы [4, 5].

Территория Восточного Донбасса отличается благоприятными природными условиями. Здесь отмечается относительно высокое (в сравнении с остальной территорией

Ростовской области) среднегодовое количество осадков (400-500 мм), что способствовало развитию изначально лесостепных ландшафтов. Повышенная увлажненность и значительная расчлененность рельефа, обусловленная особенностями геологического строения, привели к формированию разветвленной гидрографической сети двух речных бассейнов – Северского Донца и Тузлова. Наиболее крупные притоки Северского Донца – реки Кундрючья, Лихая, Быстрая, Калитва и Большая Каменка, Тузлова – реки Большой Несветай, Грушевка и Кадамовка [1, 6].

Физико-географические условия оказывают косвенное влияние на формирование химического состава и свойств поверхностных речных вод. Наиболее значительное влияние оказывают разработка угольных месторождений и высокоминерализованные подземные воды, что особенно проявляется в местах выхода техногенных шахтных вод (формирующихся из подземных вод при их поступлении в шахты) в русла рек. В климатических условиях с ограниченным количеством атмосферных осадков (восточные районы Донбасса) формируются более минерализованные подземные воды. Этому также способствует слабая расчлененность рельефа и плохая обнаженность продуктивных отложений, приводящие к ухудшению условий водообмена.

Таким образом, к региональным особенностям формирования химического состава поверхностных вод на территории Восточного Донбасса можно отнести наличие и длительную разработку каменноугольных месторождений и поступление техногенных шахтных вод.

Самые первые сведения о химическом составе шахтных вод Восточного Донбасса появились в 20-х годах прошлого столетия, но они охватывали данные небольшого числа шахт. Более обстоятельно причины появления и химический состав рудничных вод рассмотрены Д.И.Щеголевым. Он показал, что минерализация и химический состав рудничных вод очень разнообразны в силу того, что при вскрытии месторождения они являются подземными водами. Также автор описал негативные последствия, связанные с высокой агрессивностью рудничных вод в Донецком бассейне [7].

В силу широкого распространения кислотных рудничных вод и их агрессивности возникла необходимость более детального изучения причин возникновения кислотных вод и разработки методов борьбы с ними. На основе экспериментов с шахтными водами на территории разработки высокосернистых углей Кизеловского и Донецкого бассейнов А.В. Докукин, Л.С. Докукина установили связь притока кислотных рудничных вод со структурой угольного пласта и горно-геологическими факторами [8].

Ряд авторов не только рассматривали химический состав шахтных вод на территории Донецкого бассейна, но и изучали вопросы метаморфизации подземных вод в процессе их превращения в шахтные [9, 10].

В ранних работах сотрудников Гидрохимического института (в 60-70-х гг.) изучены химический состав шахтных вод на территории Восточного Донбасса и их влияние на химический состав рек [11, 12], а также роль сульфидоокисляющих бактерий *Thiobacillus ferrooxidans*, активно участвующих в биогенном формировании химического состава шахтных вод Донецкого бассейна [13, 14].

В работе Л.Н. Назаровой обследованы 84 шахты восточной части Донецкого бассейна, исследован химический состав шахтных вод. Подземные воды исследуемой территории по химическому составу отличаются разнообразием: от гидрокарбонатно-кальциевых до сульфатно- и хлоридно-натриевых с минерализацией от 0,2 до 2 г/л. В то время как шахтные воды восточной части Донецкого бассейна относятся к высокоминерализованным водам сульфатно-натриевого состава (86 %). Минерализация их, как правило выше 2 г/л, а в отдельных случаях достигает 10-12 г/л [11].

Реакция среды шахтных вод в большинстве случаев нейтральная или слабощелочная, лишь 14 % шахт исследуемого бассейна имели постоянные притоки кислых вод с $pH < 5$. В осенний период наблюдалась повышение минерализации шахтных вод и содержания в них сульфатных ионов. В весенний период одновременно с возрастанием общешахтных притоков повышается кислотность шахтных вод, что усложняло эксплуатацию шахт [11].

Образованию кислых шахтных вод способствует повышенное содержание серы в угольном пласте. В каменных углях различают три основные формы серы: сульфатную, органическую и сульфидную [15]. По данным из разных источников содержание сульфатной

серы (наименее значимой в балансе сернитости углей) весьма стабильно и не превышает 0,1–0,2 %. Для Донецкого бассейна среднее содержание сульфатной серы в углях составляет 0,08 %, органической – 0,75 % [8]. В литературе приведены и другие данные о содержании серы в донецких углях: сульфатной – 0,07–0,17 %; органической – 0,85–1,58 % и сульфидной (пиритной) – 1,15–2,85 %. В целом содержание общей серы изменяется в различных районах Донбасса от 2,25 до 3,94 % [15].

Таким образом, образование кислых шахтных вод связано с окислением пирита, содержащегося в угольной массе. В результате окисления пирита в шахтных водах накапливаются сульфат-ионы, что приводит к подкислению воды и повышению её минерализации.

В восточной части Донецкого бассейна в шахтных водах сульфатного класса отмечена тесная связь между минерализацией воды и содержанием сульфат-ионов (при коэффициенте корреляции 0,92) и хорошая взаимосвязь с содержанием ионов натрия (0,65) [11].

В шахтных водах хлоридно-натриевого состава установлена также тесная корреляционная связь между минерализацией воды и содержанием сульфат-ионов (при коэффициенте корреляции 0,88), хорошая связь отмечена между содержанием хлоридов и минерализацией воды (0,89), а также довольно тесная взаимосвязь и с ионами натрия (0,86) [16].

Такая тесная взаимосвязь между концентрацией сульфат-ионов и минерализацией шахтных вод разных классов свидетельствует о том, что на формирование химического состава шахтных вод значительное влияние оказывает интенсивность окислительных процессов.

Стоит отметить, что сульфатно-натриевые воды характерны для неглубоких шахт (до 200–300 м), находящихся в зоне активного водообмена. В этих водах повышенное содержание хлоридов является элементом загрязнения, о чем свидетельствует низкая корреляция между минерализацией воды и содержанием ионов хлора [16]. В то время как хлоридно-натриевые воды отмечены в шахтах глубиной 500 м и более. Помимо окислительных процессов, приводящих к накоплению сульфатных ионов, в воде наблюдается преобладание хлоридных ионов, за счет поступления в горные выработки хлоридно-натриевых вод из более глубоких водоносных горизонтов в соответствии с вертикальной гидрохимической зональностью подземных вод [17].

Помимо химической составляющей в процессах окисления сульфидов железа участвуют тионовые бактерии. В середине прошлого столетия Колмер и Хинкель при исследовании кислых дренажных шахтных вод в Пенсильвании выделили новый автотрофный микроорганизм *Thiobacillus ferrooxidans*. Ими была показана способность этого микроорганизма окислять включения пирита в угольных пластах и именно биогенное окисление пиритов угля они считали причиной высокой кислотности шахтных вод [18].

Позднее и другими исследователями была подтверждена значительная роль биогенного фактора (биогенное окисление) в окислении сульфидов [18–22] и отмечено присутствие *Thiobacillus ferrooxidans* в ряде угольных бассейнов [23–27]. Анализируя уголь, содержащий пирит, Ашмид показал, что около 80 % серной кислоты может образовываться биологическим путем [21].

Л.Н. Назаровой с соавторами подтверждено наличие сульфидоокисляющих бактерий в шахтных водах Донецкого угольного бассейна. *Thiobacillus ferrooxidans* активно участвуют в окислении пирита, содержащегося в углях. Наиболее активна деятельность этого вида тионовых бактерий в кислой среде (при $\text{pH} < 6$) [13, 14]. По литературным данным, при развитии тионовых бактерий pH воды быстро снижается и таким образом они сами себе создают благоприятные условия для своей жизнедеятельности [28].

В современных работах А.И. Гавришина большое внимание уделено анализу взаимосвязей «минерализация – содержание компонента», что позволило выделить четырех направлений в изменении химического состава шахтных вод и описать тем самым закономерности формирования химического состава шахтных вод Восточного Донбасса [29–34].

Первое направление изменения химического состава шахтных вод: от нейтральных маломинерализованных сульфатных переходят в кислые минерализованные сульфатные с высоким содержанием Fe, Mn, Cu и других компонентов. По мере перехода от одного вида к другому закономерно уменьшается содержание HCO_3^- и величина pH от нейтральной к сильно кислой, минерализация увеличивается преимущественно за счет роста концентраций SO_4^{2-} , Na^+ и Mg^{2+} . Средний химический состав шахтных вод первого гидрогеохимического направления –

это типичные кислые сульфатные воды со средней минерализацией 4.4 г/л. Типоморфными компонентами являются SO_4^{2-} (высокие содержания), pH (низкие значения), HCO_3^- (низкие содержания) [31-33]. Происхождение этих вод связано с интенсивным развитием в горных выработках процессов окисления серы и сульфидов, что и приводит к снижению pH до 2,2 и повышению минерализации до 10–11 г/л [30].

Второе направление формирования химического состава шахтных вод: от сульфатных до хлоридно-сульфатных. В водах закономерно увеличиваются содержания SO_4^{2-} , Cl^- и Na^+ . В среднем по составу – это сульфатные магниевые-натриевые воды второго типа с относительно повышенным содержанием Cl^- . Типоморфными компонентами являются SO_4^{2-} и Cl^- (высокие концентрации). Происхождение таких вод связано как с процессами окисления серы, так и с притоком хлоридных подземных вод при углублении горных выработок [30-33].

Третье гидрогеохимическое характеризуется переходом от сульфатных к сульфатно-хлоридным водам. Минерализация вод формируется в основном за счет роста концентраций Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ и HCO_3^- . В среднем по составу воды третьего направления сульфатно-хлоридные магниевые-натриевые. Типоморфным компонентом является Cl^- (высокие концентрации). Усиление роли хлоридных ионов связано с большим притоком хлоридных подземных вод с глубоких горизонтов [31-33].

Четвертое гидрогеохимическое направление свидетельствует о переходе состава шахтных вод от сульфатного типа к гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридному оригинального содового типа. В минерализации вод наибольшую роль играют HCO_3^- , Cl^- и Na^+ . Характерной особенностью вод являются очень низкие концентрации Ca^{2+} и Mg^{2+} . В среднем по составу воды сульфатно-хлоридные натриевые. Типоморфным компонентом являются HCO_3^- (высокие концентрации), Ca^{2+} и Mg^{2+} (низкие концентрации) [31-33]. Происхождение этих оригинальных содовых вод обусловлено притоком в шахты содовых подземных вод в результате испарительно-конденсационных процессов [31].

Чтобы понять генезис выделенных направлений изменения состава шахтных вод необходимо изучить закономерности формирования химического состава подземных вод региона.

Детальный анализ гидрогеохимической зональности подземных вод Восточного Донбасса, выполненный А.И. Гавришиным, показал, что для каменноугольных, меловых, палеогенных и неогенных отложений проявляется два вида гидрогеохимической зональности: прямая и обратная. Прямая зональность характеризуется классической схемой преобразования состава вод от сульфатно-гидрокарбонатных кальциевых (минерализация 0,4-1 г/л) к хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатным (1-2 г/л) и хлоридно-сульфатным (2-4 г/л) смешанного катионного состава и далее к сульфатно-хлоридным и хлоридным натриевым (20-50 г/л) [29-31].

Обратная зональность проявляется в том, что воды с глубиной переходят от гидрокарбонатных кальциевых (минерализация 0,3-0,7 г/л) к сульфатно-гидрокарбонатным и гидрокарбонатно-сульфатным смешанного катионного состава (1-2 г/л), далее к гидрокарбонатно-хлоридным и хлоридным натриевым (содовым) с минерализацией 2-3 г/л. Второй тип вод сменяется на первый с повышенным содержанием HCO_3^- и очень низкими Ca^{2+} и Mg^{2+} [31].

Имеется ряд работ, доказывающих наличие оригинальных маломинерализованных вод, связанных с нефтегазовыми месторождениями [34, 35]. Формирование содовых маломинерализованных вод в Донбассе наиболее вероятно связано с процессами конденсации водяных паров из водоуглеродной газовой фазы. Принимая гипотезу испарительно-конденсационного генезиса маломинерализованных вод, следует признать наличие в пределах открытого Донбасса в определенных ловушках нефтегазовых скоплений [34], как это имеет место в сопредельных геологических структурах (Днепроовско-Донецком, Донецко-Донском, Азово-Кубанском и др. бассейнах). Особенно важно, то что в пределах Восточного Донбасса в последние годы обнаружены нефтегазопроявления, в частности, в северной зоне мелкой складчатости и регионального надвигообразования северных окраин Восточного Донбасса [36].

Перечисленные факты позволяют сделать выводы о генезисе и процессах формирования состава шахтных вод выделенных направлений. Первое направление обусловлено развитием процессов интенсивного окисления серы и сульфидов, заключенных

в углях и вмещающих породах (до 3-5 %). В формировании хлоридно-сульфатных вод второго направления приблизительно равную роль играют процессы окисления сульфидов и процессы смешения вод хлоридного состава, поступающие в глубокие горные выработки. По третьему направлению еще более усиливается влияние притока хлоридных подземных вод с углублением отработки угольных пластов, воды становятся сульфатно-хлоридными и процесс окисления сульфидов отходит на второй план. Оригинальным является четвертое гидрогеохимическое направление, по которому формируются содовые воды с повышенными содержанием HCO_3^- и очень низкими Ca^{2+} и Mg^{2+} . Формирование этих шахтных вод связано с притоком содовых подземных вод второй геохимической тенденции [32].

2. Влияние шахтных вод на химический состав поверхностных вод Восточного Донбасса в новом тысячелетии

Длительная разработка угольных месторождений Восточного Донбасса, массовая ликвидация нерентабельных шахт привели к обострению экологической ситуации на водных объектах и загрязнению природных поверхностных и подземных вод [1, 37]. В период с 1992 по 2002 год ликвидировано большинство угольных шахт Восточного Донбасса путем полного затопления выработанного пространства или частичного затопления с перекачкой шахтных вод в соседние шахты. Это привело к снижению общего объема шахтных вод до 63 млн. $\text{м}^3/\text{год}$ и соответственно выноса на поверхность растворенных веществ, но вынос SO_4^{2-} почти не сократился, а железа наоборот вырос в 9 раз и снизилась величина рН, при этом окислительные процессы получили дальнейшее развитие [32].

Большинство рек в Восточном Донбассе, находящихся под влиянием сброса шахтных вод, практически утратили водохозяйственное значение и рекреационную ценность. Произошло качественное и количественное истощение водных ресурсов, вырос дефицит воды, используемой для питьевых и технических целей.

По данным А.И. Гавришина [32, 33], наибольший вынос растворенных веществ, сульфат-иона и железа происходит в реку Грушевка (167,0; 91,0 и 2,5 тыс. т/год соответственно), Кундрючья (100,0; 50,0 и 0,37), Кадамовка (91,0; 57,0 и 0,76), Лихая (35,0; 17,0 и 0,48). Во всех случаях снижается величина рН, минерализация увеличивается в 2 раза, содержание SO_4^{2-} – в 3 раза, железа – в десятки раз. Кроме того обнаруживается повышенное содержание Mn, Al, Cu и других компонентов. На воды р. Кадамовка, например, основное влияние оказывает сброс шахты Глубокая, воды которой имеют минерализацию 12,7 г/л, содержание сульфат-иона – 8,2 г/л и железа – 0,11 г/л [33].

По данным сотрудников кафедры геоэкологии и прикладной геохимии Южного федерального университета [1, 37], которые много лет изучают влияние реструктуризации угольной промышленности в Восточном Донбассе на качество водных ресурсов в регионе, минерализация шахтных вод, поступающих в бассейн р. Северский Донец, изменяется в пределах 1,23–2,93 г/л. Концентрация сульфат-ионов изменяется в интервале 0,348–1,476 г/л (3,5–14,8 ПДК), ионов натрия 0,22–0,75 г/л, ионов магния 0,08–0,26 г/л. Можно сказать, что основным негативным последствием влияния техногенных вод на речные воды бассейна р. Северский Донец является их засоление, которое вызвано минерализацией речной воды и концентрацией солеобразующих компонентов – сульфатов, ионов натрия и магния [37].

В ряде работ [37-42] отмечается высокий уровень загрязненности речных вод широким спектром соединений металлов, из которых наибольшую опасность представляют $\text{Fe}_{\text{общ}}$, Al, Mn, Cu, Sr, загрязнение которыми носит устойчивый характер с высокой частотой превышения ПДК 70-100 %. При этом содержание данных металлов в речных водах достигает высокого и экстремально высокого уровней загрязнения [1]. Загрязнение воды рек Восточного Донбасса соединениями других металлов (Ni, Li, Be, Pb, Co) не высокое, средние концентрации чаще не превышают 1 ПДК, а максимальные находятся на уровне 2-3 ПДК.

Особое внимание, среди соединений металлов, по которым наблюдалось нестабильное загрязнение, следует обратить на соединения Cd (ПДК 0,001 мг/л). Это загрязняющее вещество относится ко второму классу опасности и согласно [3] уже при превышении в 3 ПДК фиксируется высокий уровень загрязнения воды, а более 5 ПДК – экстремально высокий. Наибольшее превышение отмечено в воде р. Северский Донец – 4,7 ПДК.

В единичных случаях на участках некоторых рек эпизодически были зафиксированы случаи высокого загрязнения воды рек Быстрая и Малая Каменка – 3,4 ПДК [37].

Источником загрязнения поверхностных вод соединениями кадмия в данном регионе, наряду с шахтными водами может быть диффузный сток с сельскохозяйственных полей, на которых имеет место широкое применение химикатов содержащих Cd. Поскольку высокие уровни загрязнения кадмием обнаруживались в воде некоторых рек только в теплый вегетационный период, можно предполагать, что источником Cd в этих ситуациях могли быть сельскохозяйственные стоки (возможны и другие источники) [37].

Массовое закрытие угольных шахт в Восточном Донбассе в 90-е годы прошлого столетия, в основном путем затопления выработанного пространства, привело к формированию обширных потоков загрязнения грунтовых вод региона; началось подземное растекание шахтных вод из затопленных природно-техногенных резервуаров, в которых происходит интенсивное растворение ранее накопившихся в зоне техногенной трещиноватости сульфатов и окисление сульфидов и серы [32, 39].

Помимо непосредственного поступления загрязняющих веществ с шахтными водами существуют дополнительные источники загрязнения речных вод такие, как аэрогенный поток на поверхность бассейна, который приносит около 630,7 т в год соединений тяжелых металлов, поверхностный сток с сельхозугодий, который несет высокоминерализованные воды, поступающие в объеме около 80 млн м³/год [37].

Основным источником загрязнения рек Восточного Донбасса являются шахтные воды, так вклад этих вод в загрязнение рек бассейна Северского Донца составляет не менее 30 %, а наиболее высокий и устойчивый уровень загрязненности воды соединениями тяжелых металлов наблюдается, как правило, на участках рек сконцентрированного влияния действующих и ликвидируемых шахт (т.е. расположенных ниже «куста» ликвидируемых шахт) [1, 37]. Загрязнение поверхностных вод усугубляется еще и тем, что влияние испытывают экосистемы рек с малой и средней водностью (т.е. с низкой разбавляющей способностью), и поэтому химический состав воды напрямую формируется под влиянием шахтных вод [37, 42].

3. Качество поверхностных вод в пределах техногенно нарушенных геосистем Восточного Донбасса

Гидрохимическими наблюдениями ГСН Росгидромета охвачены не все малые и средние реки Восточного Донбасса. Регулярные наблюдения и оценка качества воды проводится на рр. Северский Донец (и его притоках – рр. Большая Каменка, Калитва, Быстрая и Кундрючья) и Тузлов (и его притоках – рр. Большой Несветай и Грушевка). В последние годы (2000–2012 гг.) по данным Гидрохимического института (ГХИ) качество воды большинства вышеперечисленных рек оценивается 4-м классом качества – «грязная» и (или) «очень грязная» [43]. Оценка выполнена по основному перечню ингредиентов и показателей качества воды.

Исследуемые нами водотоки Восточного Донбасса относятся к водным объектам Юга России со стабильно высоким уровнем химического загрязнения [44]. Водная среда рек не только относится к 4-му классу качества вод, но и этот высокий уровень загрязненности («грязная» и «очень грязная») отмечается в течение продолжительного периода времени, а также периодически возникают случаи высокого (ВЗ) и экстремально высокого уровня загрязнения (ЭВЗ) воды.

Наиболее напряженная ситуация сложилась в 90-х годах на малых реках бассейна Тузлова. Состояние экосистем по степени химического загрязнения и по гидробиологическим показателям оценивалось как крайне неблагоприятное и соответствовало зоне чрезвычайной экологической ситуации, а на отдельных участках рек (в зонах влияния сточных вод) – зоне экологического бедствия [45]. Факт интенсивного хронического загрязнения рр. Грушевка, Тузлов, Аксай специфическими токсическими веществами были подтверждены данными о содержании бенз(а)пирена в донных отложениях рек.

В настоящее время загрязненность малых рек Восточного Донбасса остается достаточно высокой, что может вызывать ряд негативных экологических последствий в экосистемах и формирует повышенный гидроэкологический риск для речных экосистем на техногенно нарушенной территории Восточного Донбасса [1].

Экологическим проблемам малых рек Восточного Донбасса, посвящено много публикаций, лишь небольшая их часть посвящена наиболее актуальным вопросам, связанным с анализом рисков реструктуризации угольной промышленности [1], изменением химического состава и качества речных вод под влиянием техногенных шахтных вод [37, 42]. При этом авторами оценка качества речных вод проводилась по более широкому перечню показателей с включением микроэлементов (Cd, Sr, Li, Be, Pb, Co и др.), содержание которых значительно превышает допустимые нормативы качества вод. Именно поэтому результаты оценки качества воды несколько отличаются от данных ГХИ.

Воды малых и средних рек Восточного Донбасса отличаются достаточно высокой комплексностью загрязнения, то есть широкой ассоциацией компонентов, содержание которых превышает ПДК. Средние значения коэффициента комплексности изменяются в створах рек бассейна Северского Донца в диапазоне 41–56 %, рек бассейна Тузлова – 41–59 % [37, 41, 42].

Наихудшим качеством отличается вода рек бассейна Тузлова: по результатам комплексной оценки оно оценивается 5-м классом – «экстремально грязная». Из 19 определяемых нормируемых ингредиентов в воде большинства створов от 9 до 12 из них являются характерными загрязняющими веществами, от 6 до 9 – критическими показателями загрязнения воды. В число критических, наряду с микрокомпонентами (Fe_{общ}, Al, Mn, Cu, Sr), входят макрокомпоненты: сульфаты, ионы натрия и магния [1, 42].

Несколько ниже загрязненность воды рек бассейна Северского Донца. Качество воды здесь по результатам комплексной оценки варьирует в пределах от 4-го класса «грязная» и «очень грязная», до 5-го класса – «экстремально грязная». Во всех створах наблюдений на реках Большая Каменка, Кундрючья, Большая Гнилуша, в устье р. Калитва степень загрязненности воды характеризуется как «экстремально грязная», в верховьях рек Малая Каменка и Быстрая и устье р. Северский Донец – «грязная» (4-ый класса качества разряд «б»); на всех остальных створах реки Северского Донца вода характеризуется 4-м классом качества разряда «б» или «в» «очень грязная» [1, 37].

Отмечается, что в створах, расположенных ниже «куста» ликвидируемых шахт, наблюдаются максимальные для всей территории Восточного Донбасса экстремально высокие концентрации марганца (925 ПДК – р. Аюта, 490 ПДК – р. Большой Несветай), алюминия (272 ПДК – р.Лихая, 90 ПДК – р.Большая Каменка), железа общего (72 ПДК – рр. Лихая и Кундрючья), меди (99 ПДК – р.Большой Несветай), а также высокие концентрации сульфатов (39 ПДК – р. Кадамовка, 32 ПДК – р. Аюта), цинка (24 ПДК – р. Атюхта, 16 ПДК – р. Быстрая) [1, 37].

На многих участках рек наблюдается также повышенный уровень загрязненности донных отложений, которые являются вторичным источником загрязнения водной толщи. В бассейнах Северского Донца и Тузлова заметное увеличение загрязнения донных осадков загрязняющими веществами, поступающими с техногенными водами ликвидируемых шахт, характерно для рек Лихая, Атюхта, Большой Несветай и Большая Гнилуша [1].

Представленные результаты комплексной оценки качества воды рек в пределах техногенно нарушенных территорий Восточного Донбасса (в местах ликвидации шахт) свидетельствуют о критически высоком уровне загрязненности воды большим комплексом загрязняющих веществ. Наибольшую техногенную нагрузку испытывают рек с малой и средней водностью (низкой разбавляющей способностью) – рр. Тузлов, Большой и Малый Несветай, Аюта, Грушевка, Кадамовка, Лихая, многие из которых практически утратили свои природные функции.

Заключение

В условиях интенсивного антропогенного воздействия на природные геосистемы углепромышленных территорий происходит повышение фоновых характеристик водных экосистем, усиливаются внутри- и межгодовые колебания концентраций в водной среде химических соединений, изменяются закономерности процессов формирования химического состава поверхностных и подземных вод.

Показано, что основным негативным последствием влияния техногенных вод на речные воды Восточного Донбасса является их засоление. Отмечается высокий уровень загрязненности речных вод широким спектром соединений металлов, из которых

наибольшую опасность представляют Fe_{общ}, Al, Mn, Cu, Sr, загрязнение которыми носит устойчивый характер с высокой частотой превышения ПДК 70-100%. Качество воды большинства рек Восточного Донбасса оценивается 4-м классом качества – «грязная» и (или) «очень грязная». Наихудшим качеством отличается вода рек бассейна Тузлова – «экстремально грязная» (5 класс качества воды).

Экологическая ситуация в пределах угледобывающих территорий уже давно находится в поле зрения исследователей и природоохранных органов разного уровня. Однако, несмотря на прилагаемые усилия существенного улучшения состояния окружающей среды не происходит. Связано это с тем, что возникшие экологические проблемы, в первую очередь гидроэкологические, оказались значительно более сложными и комплексными, чем это представлялось ранее при первоначальном планировании природоохранных мероприятий.

Именно поэтому необходима разработка и принятие эффективных мер по реабилитации экологического состояния водосборных территорий Северского Донца и Тузлова и очистке шахтных вод. Следует критически проанализировать последствия ликвидации угольных шахт путем массового затопления выработанного пространства и сделать прогноз изменения качества поверхностных вод в пределах техногенно нарушенных территорий Восточного Донбасса предприятиями угольной промышленности.

Благодарности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00376).

Примечания:

1. Закруткин В.Е. Эколого-географический анализ рисков реструктуризации угольной промышленности в Восточном Донбассе / В.Е. Закруткин, В.М. Иваник, Е.В. Гибков // Известия РАН, Серия географическая. 2010. N 5. С. 94-102.
2. Никаноров А.М. Локальный мониторинг загрязнения водных объектов в районах высоких техногенных воздействий топливно-энергетического комплекса / А.М. Никаноров, А.Г. Страдомская, В.М. Иваник // Серия «Качество вод». СПб: Гидрометеиздат, 2002. 155 с.
3. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 49с.
4. Воронков П.П. Формирование химического состава поверхностных вод степной и лесостепной зон Европейской территории СССР / Под ред. Б.Д. Зайкова. Л.: гидрометеорологическое издательство, 1955. 352 с.
5. Никаноров А.М. Гидрохимия: учебник. Ростов-на-Дону, «НОК», 2008. 461 с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 7. Донской район / Под ред. к.г.н. М.С. Протасьева. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 459 с.
7. Щеголев Д.И. Рудничные воды. Углетехнеиздат, Москва-Харьков, 1948. 144 с.
8. Докукин А.В., Докукина Л.С. Возникновение кислотных рудничных вод и борьба с ними. М.-Л.: Углетехнеиздат, 1950. 354 с.
9. Калыгин П.В. Химизм подземных и шахтных вод центрального района Донбасса // Тр. 1-го Укр. Гидрогеол. Совещ., Т. 1. Изд. АН УССР, Киев, 1961. С. 63-68.
10. Соболева И.М. Некоторые закономерности изменения и формирования химического состава шахтных вод северо-восточной части Донбасса / И.М. Соболева, С.В. Пельтихин // Советская геология, № 6, 1965. С. 115-121.
11. Назарова Л.Н. Шахтные воды восточной части Донецкого бассейна и некоторые вопросы происхождения их химического состава // Гидрохимические материалы, Том 47. Л.: Гидрометеиздат, 1968. С. 99-109.
12. Заяц Г.Н. Шахтные воды Ростовской области / Г.Н. Заяц, Н.Г. Фесенко // Гидрохимические материалы, Том 35. Л.: Гидрометеиздат, 1963. С. 131-134.
13. Назарова Л.Н. К вопросу о роли биогенного фактора в формировании химического состава шахтных вод Донецкого бассейна / Л.Н. Назарова, Г.С. Коновалов, А.Г. Кобилев // Гидрохимические материалы, Том 43. Л.: Гидрометеиздат, 1967. С. 132-136.

14. Назарова Л.Н. Влияние некоторых микроорганизмов на процесс окисления Fe^{2+} в шахтных водах Восточного Донбасса / Л.Н. Назарова, Г.С. Коновалов, А.Г. Кобилев // Гидрохимические материалы, Том 47. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. С. 94-98.
15. Справочник коксохимика. В 6-ти томах. Под ред. инж. А.К. Шелкова. Том 1. Сырьевая база и подготовка углей к коксованию. М.: Изд-во «Металлургия», 1964. 494 с.
16. Назарова Л.Н. О взаимосвязи между содержанием серы в угольном пласте и компонентами химического состава шахтных вод Восточного Донбасса / Л.Н. Назарова, В.Ю. Берман // Гидрохимические материалы, Том 50. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. С. 83-91.
17. Посохов Е.В. Формирование химического состава подземных вод. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1969. 335 с.
18. Colmer A.R., Hinkle M.R. The role of microorganisms in acid mine drainage. Science, 106, 1947.
19. Colmer A.R., Temple K.L., Hinkle M.R. An iron oxidizing bacterium from the drainage of some bituminous coal mines. J. Bact., 59, 1949.
20. Temple K.L., Colmer A.R. The autotrophic oxidation iron by a new bacterium *Thiobacillus ferrooxidans*. J. Bact., 62, 1951.
21. Achmeed D. The influence of bacteria in the formation of acid mine waters. Colliery Guard, 190, № 4918, 1955.
22. Иванов М.В. Роль тионовых бактерий в выветривании горных пород и сульфидных руд / М.В. Иванов, Н.Н. Ляликова, С.И. Кузнецов // Изв. АН СССР. Серия биол., № 2, 1958. С. 183-191.
23. Иванов В.И. Роль тионовых бактерии в процесс окисления и выщелачивания медно-сульфидных руд: Автореф. дис. канд.техн.наук. Свердловск. 1962. 26 с.
24. Ляликова Н.Н. Участие *Thiobacillus ferrooxidans* в окислении сульфидных руд на колчеданных месторождениях Среднего Урала. Микробиология, Том 29. Вып. 3, 1960. С. 382-387.
25. Ляликова Н.Н. Роль бактерий в окислении сульфидных руд / Труды Ин-та микробиологии АН СССР. Вып. 9. М., Изд-во АН СССР, 1961, с. 134—143.
26. Ляликова Н.Н. Роль бактерий в окислении сульфидных медно-никелевых руд Кольского полуострова // Микробиология, Том 30. Вып. 1, 1961. С. 12-17.
27. Смирнов В.В. Роль микробиологического фактора в процессах повышения коррозионной агрессивности шахтных вод Кизеловского угольного бассейна. Микробиология, Том 32. Вып. 4, 1963. С. 523-531.
28. Ляликова Н.Н. Физиология и экология *Thiobacillus ferrooxidans*. Микробиология, Том 29. Вып. 5, 1960. С. 674-682.
29. Гавришин А.И. Формирование химического состава шахтных вод в Восточном Донбассе / А.И. Гавришин, А. Корadini, А.В. Мохов, Л.И. Бондарева. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2003. 187 с.
30. Гавришин А.И., Закономерности формирования химического состава шахтных вод при отработке месторождений и ликвидации угольных шахт в Восточном Донбассе / А.И. Гавришин, Н.А. Климова // Геоэкология. 2003. № 6. С. 526—539.
31. Гавришин А.И. Происхождение и закономерности формирования химического состава подземных и шахтных вод в Восточном Донбассе / А.И. Гавришин, А. Корadini // Водные ресурсы, 2009, Т. 36, № 5, С. 564-574.
32. Гавришин А.И., Влияние функционирования и ликвидации угольных шахт на химический состав природных вод в Восточном Донбассе / Материалы научно-практической конференции с межд. участием «Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России». Часть 1. Ростов-на-Дону, 2009. С. 43-46.
33. Гавришин А.И., Корadini А. Многомерный классификационный G-метод в изучении пространственно-временных гидрохимических закономерностей / А.И. Гавришин, Н.А. Дробнева // Современные проблемы гидрохимии и формирования качества вод: материалы научной конференции, посвященной 90-летию Гидрохимического института. Ростов-на-Дону, 2010. С. 18-30.
34. Гавришин А.И. О генезисе маломинерализованных содовых вод Донбасса // ДАН. 2005, Т. 404, № 5. с. 668-670.
35. Никаноров А.М. Методы нефтепромысловых гидрогеологических исследований.

М.: Недра, 1977. 256. с.

36. Бобух В.А. Региональное надвигообразование северных окраин Восточного Донбасса в связи с формированиями залежей УВ / В.А. Бобух, А.А. Чихирин, В.Н. Тюльдин // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2004. № 7. С. 22–28.

37. Закруткин В.Е. Оценка влияния ликвидируемых шахт Восточного Донбасса на гидрохимический состав малых рек бассейна Северского Донца / В.Е. Закруткин, В.М. Иваник, Е. В. Гибков, В.В.Скляр // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2010. № 3. С. 84-87.

38. Приваленко В.В. Загрязненность поверхностных вод. В кн.: Проблемы и перспективы комплексного освоения минеральных ресурсов Восточного Донбасса. Ростов-на-Дону, 2005. С.143-147.

39. Экологический мониторинг ликвидации неперспективных шахт Восточного Донбасса / Под ред. В.М. Еремеева. Шахты, 2001. 182 с.

40. Вернюк Н.А. Изменение химического состава шахтных вод Шахтинского угольного района и влияние его на экологическую обстановку // Проблемы геологии и освоения недр юга России. Ростов-на-Дону, 2006. С. 348-350.

41. Гибков Е.В. Эколого-географический анализ и оценка гидроэкологического риска на территории Восточного Донбасса в связи с реструктуризацией угольной промышленности. Автореф. на соиск. учен. ст. канд. геогр. наук. Ростов-на-Дону, 2011. 23 с.

42. Закруткин В.Е. Состояние загрязненности воды рек Ростовской области в районах техногенного влияния ликвидируемых шахт Восточного Донбасса (реки бассейна Тузлова) / В.Е. Закруткин, В.М. Иваник // Материалы научно-практической конференции с межд. участием «Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России». Часть 1. Ростов-на-Дону, 2009. С. 88-91.

43. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Под ред. чл.-корр. РАН, проф. А.М. Никанорова / Ежегодники за 2000–2012 гг. Ростов-на-Дону, ФГБУ «ГХИ», 2001–2013.

44. Никаноров А.М. Качество воды в водных объектах Юга России со стабильно высоким уровнем химического загрязнения / А.М. Никаноров, Т.А. Хоружая // География и природные ресурсы, 2012. № 2. С. 40-45.

45. Экология Новочеркасска. Проблемы, пути решения. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦВШ, 2001. 412 с.

References:

1. Zakrutkin V.E. Jekologo-geograficheskij analiz riskov restrukturizacii ugol'noj promyshlennosti v Vostochnom Donbasse / V.E. Zakrutkin, V.M. Ivanik, E.V. Gibkov // Izvestija RAN, Serija geograficheskaja. 2010. N 5. S. 94-102.

2. Nikanorov A.M. Lokal'nyj monitoring zagrjaznenija vodnyh ob#ektov v rajonah vysokih tehnogennyh vozdeystvij toplivno-jenergeticheskogo kompleksa / A.M. Nikanorov, A.G. Stradomskaja, V.M. Ivanik // Serija «Kachestvo vod». SPb: Gidrometeoizdat, 2002. 155 s.

3. RD 52.24.643-2002. Metodicheskie ukazanija. Metod kompleksnoj ocenki stepeni zagrjaznennosti poverhnostnyh vod po gidrohimicheskim pokazateljam. SPb.: Gidrometeoizdat, 2002. 49s.

4. Voronkov P.P. Formirovanie himicheskogo sostava poverhnostnyh vod stepnoj i lesostepnoj zon Evropejskoj territorii SSSR / Pod red. B.D. Zajkova. L.: gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo, 1955. 352 s.

5. Nikanorov A.M. Gidrohimiya: uchebnik. Rostov-na-Donu, «NOK», 2008. 461 с.

6. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Tom 7. Donskoj rajon / Pod red. k.g.n. M.S. Protas'eva. L.: Gidrometeoizdat, 1973. 459 s.

7. Shhegolev D.I. Rudnichnye vody. Ugletehneizdat, Moskva-Har'kov, 1948. 144 s.

8. Dokukin A.V., Dokukina L.S. Vozniknovenie kislotnyh rudnichnyh vod i bor'ba s nimi. M.-L.: Ugletehneizdat, 1950. 354 s.

9. Kalygin P.V. Himizm podzemnyh i shahtnyh vod central'nogo rajona Donbassa // Tr. 1-go Ukr. Gidrogeol. Soveshh., t.1. Izd. AN USSR, Kiev, 1961. S. 63-68.

10. Soboleva I.M. Nekotorye zakonomernosti izmenenija i formirovanija himicheskogo sostava shahtnyh vod severo-vostochnoj chasti Donbassa / I.M.Soboleva, S.V. Pel'tihin // Sovetskaja geologija, № 6, 1965. S. 115-121.

11. Nazarova L.N. Shahtnye vody vostochnoj chasti Doneckogo bassejna i nekotorye voprosy proishozhdenija ih himicheskogo sostava // *Gidrohimičeskie materialy*, Tom 47. L.: Gidrometeoizdat, 1968. S. 99-109.
12. Zajac G.N. Shahtnye vody Rostovskoj oblasti / G.N.Zajac, N.G. Fesenko // *Gidrohimičeskie materialy*, Tom 35. L.: Gidrometeoizdat, 1963. S. 131-134.
13. Nazarova L.N. K voprosu o roli biogennoho faktora v formirovanii himicheskogo sostava shahtnyh vod Doneckogo bassejna / L.N. Nazarova, G.S. Konovalov, A.G. Kobilev // *Gidrohimičeskie materialy*, Tom 43. L.: Gidrometeoizdat, 1967. S. 132-136.
14. Nazarova L.N. Vlijanie nekotoryh mikroorganizmov na process okislenija Fe²⁺ v shahtnyh vodah Vostochnogo Donbassa / L.N. Nazarova, G.S. Konovalov, A.G. Kobilev // *Gidrohimičeskie materialy*, Tom 47. L.: Gidrometeoizdat, 1968. S. 94-98.
15. Spravočnik koksohimika. V 6-ti tomah. Pod red. inzh. A.K. Shelkova. Tom 1. Syr'evaja baza i podgotovka uglej k koksovaniju. M.: Izd-vo «Metallurgija», 1964. 494 s.
16. Nazarova L.N. O vzajmosvjazi mezhdu soderžaniem sery v ugol'nom plaste i komponentami himicheskogo sostava shahtnyh vod Vostochnogo Donbassa / L.N. Nazarova, V.Ju. Berman // *Gidrohimičeskie materialy*, Tom 50. L.: Gidrometeoizdat, 1969. S. 83-91.
17. Posohov E.V. Formirovanie himicheskogo sostava podzemnyh vod. L.: Gidrometeorologičeskoe izdatel'stvo, 1969. - 335 s.
18. Colmer A.R., Hinkle M.R. The role of microorganisms in acid mine drainage. *Science*, 106, 1947.
19. Colmer A.R., Temple K.L., Hinkle M.R. An iron oxidizing bacterium from the drainage of some bituminous coal mines. *J. Bact.*, 59, 1949.
20. Temple K.L., Colmer A.R. The autotrophic oxidation of iron by a new bacterium *Thiobacillus ferrooxidans*. *J. Bact.*, 62, 1951.
21. Achmeed D. The influence of bacteria in the formation of acid mine shafts. *Colliery Guard*, 190, № 4918, 1955.
22. Ivanov M.V. Rol' tionovyh bakterij v vyvetrivanii gornyh porod i sul'fidnyh rud / M.V. Ivanov, N.N. Ljalikova, S.I. Kuznecov // *Izv. AN SSSR. Serija biol.*, № 2, 1958. S. 183-191.
23. Ivanov V.I. Rol' tionovyh bakterij v process okislenija i vyshhelachivaniija medno-sul'fidnyh rud: Avtoref. dis. kand.tehn.nauk. Sverdlovsk. 1962. 26 s.
24. Ljalikova N.N. Učastie *Thiobacillus ferrooxidans* v okislenii sul'fidnyh rud na kolchedannyh mestorozhdenijah Srednego Urala. *Mikrobiologija*, Tom 29. Vyp. 3, 1960. S.382-387.
25. Ljalikova N.N. Rol' bakterij v okislenii sul'fidnyh rud / *Trudy In-ta mikrobiologii AN SSSR*. Vyp. 9. M., Izd-vo AN SSSR, 1961, s. 134-143.
26. Ljalikova N.N. Rol' bakterij v okislenii sul'fidnyh medno-nikelevykh rud Kol'skogo poluostrova // *Mikrobiologija*, Tom 30. Vyp. 1, 1961. S. 12-17.
27. Smirnov V.V. Rol' mikrobiologičeskogo faktora v processah povyšeniija korrozionnoj agresivnosti shahtnyh vod Kizelovskogo ugol'nogo bassejna. *Mikrobiologija*, Tom 32. Vyp. 4, 1963. S. 523-531.
28. Ljalikova N.N. Fiziologija i jekologija *Thiobacillus ferrooxidans*. *Mikrobiologija*, Tom 29. Vyp. 5, 1960. S. 674-682.
29. Gavrishin A.I. Formirovanie himicheskogo sostava shahtnyh vod v Vostochnom Donbasse / A.I. Gavrishin, A. Koradini, A.V. Mohov, L.I. Bondareva. Novočerkassk: JuRGU (NPI), 2003. 187 s.
30. Gavrishin A.I., Zakonomernosti formirovanija himicheskogo sostava shahtnyh vod pri otrabotke mestorozhdenij i likvidacii ugol'nyh shaft v Vostochnom Donbasse / A.I. Gavrishin, N.A. Klimova // *Geojekologija*. 2003. № 6. S. 526-539.
31. Gavrishin A.I. Proishozhdenie i zakonomernosti formirovanija himicheskogo sostava podzemnyh i shahtnyh vod v Vostochnom Donbasse / A.I. Gavrishin, A. Koradini // *Vodnye resursy*, 2009, T. 36, № 5, S. 564-574.
32. Gavrishin A.I., Vlijanie funkcionirovanija i likvidacii ugol'nyh shaft na himičeskij sostav prirodnyh vod v Vostochnom Donbasse / *Materialy nauchno-praktičeskoj konferencii s mezhd. učastiem «Sovremennye fundamental'nye problemy gidrohimii i monitoringa kachestva poverhnostnyh vod Rossii»*. Čast' 1. Rostov-na-Donu, 2009. S. 43-46.
33. Gavrishin A.I., Koradini A. Mnogomernyj klassifikacionnyj G-metod v izučenii prostranstvenno-vremennyh gidrohimičeskikh zakonomernostej / A.I. Gavrishin, N.A. Drobneva //

Sovremennye problemy gidrohimii i formirovanija kachestva vod: materialy nauchnoj konferencii, posvjashhennoj 90-letiju Gidrohimičeskogo instituta. Rostov-na-Donu, 2010. S. 18-30.

34. Gavrišin A.I. O genezise malomineralizovannyh sodovyh vod Donbassa // DAN. 2005, T. 404, № 5. s. 668-670.

35. Nikanorov A.M. Metody neftepromyslovyh gidrogeologičeskikh issledovanij. M.: Nedra, 1977. 256. s.

36. Bobuh V.A. Regional'noe nadvigoobrazovanie severnyh okrain Vostočnogo Donbassa v svjazi s formirovanijami zalezhej UV / V.A. Bobuh, A.A. Chihirin, V.N. Tjul'din // Geologija, geofizika i razrabotka nefťjanyh i gazovyh mestorozhdenij. 2004. № 7. S. 22–28.

37. Zakrutkin V.E. Ocenka vlijanija likvidiruemyh shaht Vostočnogo Donbassa na gidrohimičeskij sostav malyh rek bassejna Severskogo Donca / V. E. Zakrutkin, V.M. Ivanik, E.V. Gibkov, V.V.Skljarov // Izvestija VUZov. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki. 2010. № 3. S. 84-87.

38. Privalenko V.V. Zagrjaznennost' poverhnostnyh vod. V kn.: Problemy i perspektivy kompleksnogo osvoenija mineral'nyh resursov Vostočnogo Donbassa. Rostov-na-Donu, 2005. S.143-147.

39. Jekologičeskij monitoring likvidacii neperspektivnyh shaht Vostočnogo Donbassa / Pod red. V.M Eremeeva. Shahty, 2001. 182s.

40. Vernjuk N. A. Izmenenie himičeskogo sostava shahtnyh vod Shahtinskogo ugol'nogo rajona i vlijanie ego na jekologičeskiju obstanovku // Problemy geologii i osvoenija neдр juga Rossii. Rostov-na-Donu, 2006. S. 348-350.

41. Gibkov E.V. Jekologo-geografičeskij analiz i ocenka gidrojekologičeskogo riska na territorii Vostočnogo Donbassa v svjazi s restrukturizaciej ugol'noj promyšlennosti. Avtoref. na soisk. učen. st. kand. geogr. nauk. Rostov-na-Donu, 2011. 23 s.

42. Zakrutkin V.E. Sostojanie zagrjaznennosti vody rek Rostovskoj oblasti v rajonah tehnogenno vlijanija likvidiruemyh shaht Vostočnogo Donbassa (reki bassejna Tuzlova) / V.E. Zakrutkin, V.M. Ivanik // Materialy nauchno-praktičeskoj konferencii s mezhd. uchastiem «Sovremennye fundamental'nye problemy gidrohimii i monitoringa kachestva poverhnostnyh vod Rossii». Čast' 1. Rostov-na-Donu, 2009. S. 88-91.

43. Kachestvo poverhnostnyh vod Rossijskoj Federacii. Pod red. chl.-korr. RAN, prof. A.M. Nikanorova / Ezhegodniki za 2000-2012 gg. Rostov-na-Donu, FGBU «GHI», 2001-2013.

44. Nikanorov A.M. Kachestvo vody v vodnyh ob#ektah Juga Rossii so stabil'no vysokim urovnem himičeskogo zagrjaznenija / A.M. Nikanorov, T.A. Horuzhaja // Geografija i prirodnye resursy, 2012. № 2. S. 40-45.

45. Jekologija Novočerkasska. Problemy, puti reshenija. Rostov n/D: Izd-vo SKNCVSh, 2001. 412 s.

УДК 504.064

Химический состав поверхностных вод техногенно нарушенных геосистем восточного Донбасса

¹ Ольга Сергеевна Решетняк

² Анатолий Максимович Никаноров

³ Владимир Евгеньевич Закруткин

⁴ Евгений Викторович Гибков

¹ Институт наук о Земле Южного Федерального университета, Российская Федерация
344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40

Преподаватель

Кандидат географических наук, старший научный сотрудник

E-mail: olgare1@rambler.ru

² Гидрохимический институт Росгидромета, Российская Федерация

344090, г. Ростов-на-Дону, проспект Стачки, 198

Член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник

Институт наук о Земле Южного Федерального университета, Российская Федерация
344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40
Профессор
E-mail: ghi6@aanet.ru

³Институт наук о Земле Южного Федерального университета, Российская Федерация
344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40
доктор геолого-минералогических наук, профессор
E-mail: vezak@list.ru

⁴ Институт наук о Земле Южного Федерального университета, Российская Федерация
344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40
Кандидат географических наук
E-mail: irvict@mail.ru

Аннотация. На основе анализа литературных данных и собственных результатов исследований проведена оценка факторов формирования химического состава поверхностных и подземных вод, изменчивость химического состава и качества речных вод Восточного Донбасса.

Показано, что основным негативным последствием влияния техногенных вод на речные воды является их засоление. Отмечается высокий уровень загрязненности речных вод широким спектром соединений металлов, из которых наибольшую опасность представляют Fe_{общ}, Al, Mn, Cu, Sr, загрязнение которыми носит устойчивый характер. Качество воды большинства рек Восточного Донбасса оценивается 4-м классом качества – «грязная» и (или) «очень грязная». Полученные результаты могут быть использованы при решении целого ряда научных и прикладных задач, связанных с оценкой миграции химических веществ, характера и уровня загрязнения поверхностных и подземных вод, прогнозом состояния водных объектов и качества воды, а также для осуществления водоохраных мероприятий в регионе.

Ключевые слова: реки Восточного Донбасса; химический состав воды; качество воды.