

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Научный совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной
геологии и гидрогеологии

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН
ОХОТИНСКОЕ ОБЩЕСТВО ГРУНТОВЕДОВ

СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

***Фундаментальные и прикладные вопросы
современного грунтоведения***

Выпуск 23

**Материалы годичной сессии
Научного совета РАН по проблемам геоэкологии,
инженерной геологии и гидрогеологии
(31 марта – 1 апреля 2022 г.)**



Москва
Издательство «Геоинфо»
2022

ББК 26.3
С 32
УДК 624.131.: 551.3.

Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы современного грунтоведения. Выпуск 23. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (31 марта – 1 апреля 2022 г.). Москва: изд-во «ГеоИнфо», 2022. – 466 стр. ил.

ISBN 978-5-9908493-7-2

В сборнике опубликованы доклады, представленные на двадцать третью ежегодную конференцию «Сергеевские чтения» памяти академика Е.М. Сергеева – выездную сессию Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, организованную в г. Санкт-Петербурге при участии Охотинского общества грунтоведов 31 марта – 1 апреля 2022 г. Чтения были посвящены обсуждению фундаментальных и прикладных вопросов современного грунтоведения. В соответствии с обсуждавшимися на конференции темами, сборник состоит из следующих разделов: Развитие теории грунтоведения; Изучение состава и свойств грунтов в практике инженерно-геологических изысканий; Изучение массивов грунтов в целях прогнозирования и оценки опасных природных процессов; Методические вопросы изучения грунтов и моделирование; Геоэкологические аспекты изучения массивов природных и техногенных грунтов. Для специалистов, студентов и аспирантов в области инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии.

Редакционная коллегия:

В.И. Осипов (главный редактор), Е.А. Вознесенский (зам. главного редактора), Е.В. Булдакова, О.Н. Еремина (отв.секретарь), Ф.С. Карпенко, А.И. Казеев, И.В. Козлякова, Н.Г. Мавлянова, П.С. Микляев.

© Научный совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, 2022

© Изд-во «ГеоИнфо», 2022

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИЗЛИВОВ КИСЛЫХ ШАХТНЫХ ВОД КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Н.Г. Максимович^{1,2}, В.Т. Хмурчик¹, О.Ю. Мещерякова^{1,2},
О.А. Березина^{1,2}, А.Д. Деменев¹

¹Естественнонаучный институт ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», 614068, г. Пермь, ул. Генкеля, 4

²ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: nmax54@gmail.com

О формировании кислых вод при шахтном способе разработки полезных ископаемых известно с 1556 г. В 1698 г. впервые зафиксировано образование кислых шахтных вод при добыче угля в Пенсильвании (США) [3]. Кислые воды образуются в результате природного процесса окисления сульфидных минералов при их контакте с атмосферным воздухом и водой. Добыча полезных ископаемых активизирует процесс, так как при этом улучшается контакт сульфидных минералов с водой и кислородом воздуха. Кислые шахтные воды могут образовываться как на разрабатываемых, так и неактивных, заброшенных и мелиорированных угольных месторождениях. Кислые шахтные воды характеризуются высокой минерализацией и повышенным содержанием сульфатов, железа, алюминия, и других металлов и металлоидов. При поступлении кислых вод в речную сеть происходит образование тонкого охристого осадка в результате роста рН, который переносится с речными водами на десятки километров и перекрывает донные отложения рек, изменяя их минеральный и химический состав.

Исследования состояния окружающей среды, проводимые авторами более 20 лет на территории закрытого в настоящее время Кизеловского угледобывающего бассейна, по-прежнему выявляют последствия изливов кислых вод (рН 2–4) с высоким содержанием железа, алюминия и микроэлементов [2]. Задачей представленной работы являлось исследование закономерностей миграции и накопления техногенного осадка, образовавшегося в результате смешения шахтных вод с речными.

Объектом исследования являлись донные отложения р. Косьвы, в воды которой ежегодно напрямую (без очистки) поступают наибольшие объемы кислых шахтных вод из заброшенных горных выработок и родников. Река Косьва, крупный левобережный приток р. Камы, берет начало на западном склоне Среднего Урала. Общая длина реки 310 км, уклон изменяется от 3% в верховьях до 1,8% в нижнем течении. Площадь водосборного бассейна 7485 км², средняя его высота 387 м, коэффициент густоты речной сети около 0,21 км/км². Годовая амплитуда колебания уровня воды составляет 248 см. Дождевые паводки наблюдаются в среднем 9 раз в году. Средний годовой расход воды 83,5 м³/с, максимальный (весеннее половодье) – 650 м³/с, минимальный (зимняя межень) 25,7 м³/с. Рельеф бассейна определяется наличием горных увалов, образующих Уральский хребет. Нижняя часть реки характеризуется широкой долиной, значительной извилистостью и неустойчивостью русла. По мере продвижения вверх по течению коренные берега сближаются, отчего долина участками приобретает характер каньона. В зоне ликвидированных шахт Кизеловского угольного бассейна ширина реки составляет 85 м, глубина 1,6 м, скорость течения 1,2 м/с. Район, по территории которого протекает р. Косьва, характеризуется развитыми карстовыми процессами – водосбор закарстован на 28–29%. Современный облик долины реки существенно изменился после строительства гидротехнических сооружений. В результате создания в 1946 г. Широковского водохранилища долина реки затоплена на протяжении 25 км выше г. Губахи, а заполнение в 1954 г. Камского водохранилища привело к затоплению устьевых участков. Для исследований был выбран участок реки ниже Широковского водохранилища общей протяженностью около 240 км, где р. Косьва пересекает Кизеловский угольный бассейн в широтном направлении. Выше Широковского водохранилища река практически не подвержена техногенному воздействию.

В бассейне р. Косьвы расположено 8 изливов кислых шахтных вод, которые попадают непосредственно в реку или ее притоки. Суммарный объем поступающих шахтных вод составляет до

15 млн. м³ в год; воды характеризуются кислой реакцией среды (рН 2,3–2,9) и сульфатным железисто-кальциевым составом с минерализацией до 13,3 г/л.

Проведенные исследования показали, что формирование осадка и его осаждение происходит сразу после смешения кислых шахтных вод с природными нейтральными речными водами. Осадок представляет собой взвесь, которая способна мигрировать вниз по течению рек на многие километры. Эта взвесь содержит значительное количество подвижных форм металлов и металлоидов. Перенос взвеси потоком приводит к тому, что дно реки покрывается слоем техногенных отложений, распределение которых неравномерно по длине реки: максимальная мощность техногенных отложений приходится на участки с минимальными скоростями течения – плесовые участки. В половодье и паводки происходит процесс смыва техногенных отложений за счёт резкого увеличения расходов воды, в меженные периоды наблюдается процесс аккумуляции техногенных отложений. Основными зонами аккумуляции являются приустьевые участки р. Косьвы и Косьвинский залив Камского водохранилища.

Определение масштабов образования техногенного осадка в р. Косьва проведено путем вычисления кислотопродуцирующего потенциала основных источников загрязнения реки с учетом их расхода. Кислотопродуцирующий потенциал отражает то количество CaCO₃, которое необходимо для полной нейтрализации кислой реакции среды загрязненных вод с определенным содержанием тяжелых металлов (Fe, Al, Mn) и определенным значением рН, и вычисляется по следующей формуле:

$$КП = 50[2Fe/56 + 3Al/27 + 2Mn/55 + 1000 \cdot 10^{-рН}], \quad (1)$$

где КП – кислотопродуцирующий потенциал, мг/дм³, Fe, Mn, Al – содержание соответствующих элементов, мг/дм³, рН – водородный показатель, ед. рН [4].

По данным химического состава и расхода вод, поступающих в р. Косьву из основных источников загрязнения, полученным в период 2007–2019 гг. [1], определены усредненные масштабы поступления техногенного осадка (табл. 1).

<i>Таблица 1.</i>				
Источники и масштабы поступления техногенного осадка в р. Косьве				
№ п/п	Объект	Дебит, м3/год	Масштабы поступления, т/год	Доля в общем объеме поступления, %
1	Скв.634 шахты Шумихинская	71800	100	0,54
2	Родник 417а (р. Шумиха)	1491320	560	3,01
3	Родник 407 (р. Ладейный Лог)	15263000	365	1,96
4	Штольня шахты им. 1 мая	500750	260	1,40
5	Штольня шахты им. Калинина	3820000	16600	89,32
6	Трубный ходок шахты им. Крупской	162800	700	3,77
Сумма		21309670	18585	100

Донные отложения реки по данным анализа водной вытяжки характеризовались преимущественно НСО₃–Са и SO₄–Са составом. Сухой остаток изменялся в широких пределах и в среднем составлял 1847 мг/кг, что превышало фоновые значения (520 мг/кг). Показатель рН водной и солевой вытяжки варьировал в пределах слабокислых и нейтральных значений с ярко выраженным снижением до 2,4–2,7 в районе устья изливов кислых вод. В микрокомпонентном составе отмечены повышенные концентрации преимущественно Zn, Be, Cu, V, W, Ni, Sr, Zr, Ba и др. элементов по сравнению с фоновым содержанием. Рост концентраций микроэлементов в основном зафиксирован в районе влияния подпора гидротехнического сооружения на р. Каме ниже изливов кислых вод, где, вероятно, и происходит интенсивное накопление тяжелых металлов в осадках. Повышенные концентрации Be, Cu, Li, Sr были зафиксированы ниже по течению в непосредственной близости от устья изливов, в то время как рост концентраций остальных элементов в основном фиксировался в районе начала влияния водохранилища, где река приобретала другой (переходный в водохранилище) гидрологический режим.

Для элементов, чьи концентрации превышали ПДК для поверхностных вод, был рассчитан коэффициент распределения (Concentration ratio, CR) в системе вода-донные осадки по формуле:

$$CR = X_s/X_w, \quad (2)$$

где X_s – концентрация элемента в осадке, X_w – концентрация элемента в воде.

Значение коэффициента CR в водотоках, принимающих кислые шахтные воды, варьирует в различных пределах: 4–50000 л/кг для кадмия, 50–20000 л/кг для свинца, 99–300000 л/кг для меди и т. д. [5]. Расчеты показали, что коэффициент распределения изменялся в пределах, сопоставимых с другими водотоками, где наблюдается формирование загрязнения тяжелыми металлами. Однако для р. Косьвы выявлена аномалия по цинку, значение коэффициента CR для которого в среднем составило 36621,2, что является очень высоким показателем для этого элемента.

В целом, полученные результаты позволили сделать вывод, что в донных отложениях р. Косьвы происходит накопление металлов и металлоидов, в результате чего формируется источник вторичного загрязнения. Это особенно выражено в районе начала подпора водами водохранилища. С большой долей вероятности этот участок и является одним из основных седиментационных барьеров на исследуемом водотоке для большинства элементов.

Литература

1. *Геоинформационная система Кизеловского угольного бассейна (ГИС КУБ). Электронный ресурс: www.kub.maps.psu.ru. (дата обращения 29.11.2021 г.).*
2. *Максимович Н.Г., Пьянков С.В. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения. Пермь, Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2018. 288 с.*
3. *British Columbia Acid Mine Drainage Task Force (BCAMDTF). Draft acid rock drainage technical guide. Vancouver, SRK, 1989.*
4. *Kruse N.A., Stoertz M.W., Green D.H. et al. Acidity loading behavior in coal-mined watersheds // Mine Water and Environment. 2014. N 33, p. 177–186.*
5. *Pak G., Jung M., Kim H., K.J.B. K.J.B., Chung G., Kim S., Kim Y., Oa S., Yoon J. Assessment of metals loading in an acid mine drainage watershed // Mine Water and Environment. 2016. N 35. p. 44–54.*