

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

С.Г. Ницкая, И.В. Антоненко

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

В условиях урбанизации отмечается усиление техногенного воздействия на водные объекты, которое наиболее отчетливо проявляется на водоемах, которые располагаются на территории жилой застройки. Ценность водоемов в городах заключается в возможности использования их в качестве объектов рекреации. В такие водные объекты загрязняющие вещества поступают с организованными сточными водами промышленных предприятий и поверхностных ливневых вод. Однако на значительной части городских территорий система поверхностного стока не организована. В этом случае дождевой и талый сток неорганизованно (диффузно) попадает в водные объекты. Загрязняющие вещества ухудшают качество природных вод, нарушают функционирование водных экосистем и снижают способность к самоочищению. В результате наблюдается интенсификация процессов эвтрофикации водоемов, заболачивание и нарушение местных биоценозов. Загрязняющие вещества, поступающие в поверхностные водные объекты, накапливаются в донных отложениях и создают вторичное загрязнение рек. Донные отложения водоемов являются накопителями тяжелых металлов. Благодаря сорбционным процессам происходит очищение воды от тяжелых металлов, но при определенных процессах наблюдается десорбция металлов и их переход в растворенном состоянии в толщу воды и происходит вторичное загрязнение. В работе исследовано влияние состояния территории водосбора на качество воды в водоеме, содержание загрязняющих веществ в воде и донных отложениях. Показано, что качество воды и донных отложений по содержанию химических элементов определяется типом антропогенной нагрузки. Для участков реки, не подверженных техногенной нагрузке, основное влияние оказывает состояние атмосферы и водосборной площади, с которой осуществляется диффузное поступление дождевых и талых вод. Состав тяжелых металлов воды и донных отложений характеризует преимущественно природный геохимический фон. Сброс производственных сточных вод приводит к увеличению в составе воды и донных отложений элементов антропогенного происхождения.

Ключевые слова: антропогенная нагрузка, урбанизированные территории, водные объекты, донные отложения, загрязнение, самоочищающая способность водных объектов

Введение

Современная городская территория формирует условия постепенного изменения природных объектов окружающей среды. Одними из компонентов трансформации являются поверхностные водоемы и водотоки. Роль водоемов на урбанизированной территории состоит в возможности использования их в качестве объектов рекреации (культурно-бытовое водопользование). Поверхностные воды на территории населенных пунктов являются динамичными системами и максимально подвержены влиянию городской среды.

Одной из проблем негативного изменения состояния природных водоемов и водотоков на территории городской застройки является поступление загрязняющих веществ при сбросе сточных вод – локальном (сосредоточенном) и диффузном, неорганизованном. Локальные выпуски сточных вод отражают уровень применяемых технологий очистки загрязненных вод. Поверхностный дождевой и талый сток в большинстве случаев не организован и поступает в водные объекты без очистки самотеком с территорий, примыкающих к водоемам (диффузное загрязнение). Степень загрязнения поверхностного стока определяется состоянием водосборной площади.

Одним из индикаторов качества воды поверхностных водных объектов являются донные отложения, содержащие информацию о состоянии и особенностях водосборного бассейна. Донные отложения являются более информативным объектом исследований, чем вода, поскольку химический состав донных отложений несет информацию как о природной, так и о техногенной составляющей загрязнения в течение более длительного периода времени [1, 2].

Вещества, содержащиеся в природных водах в малых концентрациях (микроэлементы) и прежде всего тяжелые металлы, обладают высокой физико-химической активностью. На основе исследования миграции тяжёлых металлов в системе «вода – донные отложения» и количественных оценок интенсивности их массообмена допустимо судить о наличии или отсутствии опасности вторичного загрязнения [3]. Было показано, что доля запасов массы тяжелых металлов в поровом растворе 10-сантиметрового слоя донных отложений незначительна относительно их запасов в твёрдой фазе. Отмечено, что роль порового раствора в процессах вторичного загрязнения водных масс водохранилища состоит не только в запасе растворённых элементов. Часть тяжелых металлов твёрдой фазы донных отложений в определённых физико-химических условиях (резкое снижение pH, обеднение придонного слоя воды растворённым кислородом, изменение окислительно-восстановительной обстановки в донных отложениях) переходит в поровый раствор и далее в водную массу, при этом переход тяжелых металлов из донных отложений в водную массу осуществляется транзитом через поровый раствор.

В работе [4] отмечено, что донные отложения, характеризующиеся песчаным и супесчаным гранулометрическим составом, нейтральной реакцией среды, низким содержанием органического вещества и Fe_2O_3 , как правило, обладают невысокой сорбционной способностью по отношению к тяжелым металлам. В том случае, когда существуют корреляционные связи между тяжелыми металлами и физико-химическими свойствами отложений, образование техногенных геохимических аномалий обусловлено присутствием сорбционно-седиментационных, хемосорбционных и биогеохимических барьеров. Так, увеличение содержания органического вещества может способствовать накоплению тяжелых металлов в донных отложениях.

Важная роль органического вещества отмечается в работах Е.П. Янина [5–7]. Органическое вещество в речных системах обладает высокой сорбционной емкостью, сродством к тяжелым металлам и обуславливает интенсивность взаимодействия между водной массой, гидробионтами и донными отложениями. Перечисленные характеристики обуславливает значимость техногенных илов как вторичного источника загрязнения водной массы и гидробионтов.

Оценить степень загрязнения и токсичность природных вод возможно не только химическими методами, но и по биологическим характеристикам с помощью биоиндикации и биотестирования.

При установлении токсичности методом биотестирования [8] донных отложений по группе тяжелых металлов с высокой вероятностью биологических эффектов отмечено, что наибольшей опасностью характеризуются осадки в местах сбросов промышленных предприятий (как правило, большее влияние оказывают объекты химической (лакокрасочной) промышленности и производства свинцово-кислотных аккумуляторов).

В районах воздействия промышленного узла отмечается, что геохимия донных отложений представлена псаммитовой фракцией (преимущественно грубо- и среднезернистыми песками), содержание органического вещества незначительно, что свидетельствует о слабой самоочищающей способности рек в зоне техногенеза. Геохимическое зонирование рек выявило металлы, которые создают напряжённую экологическую обстановку для рек на исследуемой территории [9].

Актуальной проблемой является загрязнение прибрежных районов морских акваторий. Так, в работе [10], используя балансовые модели для существующих исходных данных при недостаточности гидрохимических и других показателей, выполнен расчет нормативов допустимого воздействия на качество воды прибрежного района г. Владивостока. В результате выполненных расчетов определен перечень приоритетных веществ, приносимых со сточными водами предприятий, с ливневыми и тальными сточными водами и влияющих на экологическое состояние бухты.

Интенсивная антропогенная деятельность характерна для побережья Азовского моря и способствует возникновению условий повышенного экологического риска в морских экосистемах. В работе [11] представлены критерии нормирования антропогенного воздействия на акваторию по потокам депонирования в толщу донных отложений наиболее токсичных тяжелых металлов.

Отмечено, что тяжелые металлы являются консервативными загрязнителями, поэтому основные механизмы самоочищения морской среды связаны со снижением концентраций тяжелых металлов в воде за счет их миграции в смежные акватории и за счёт седиментационного депонирования в донные отложения. Однако для штормовых условий возможна определенная рекомобилизация загрязняющих веществ в водную толщу за счет взмучивания донных осадков, но основная часть загрязняющих веществ достаточно прочно депонируется в отложениях. На основании полученных данных автор делает вывод, что при оценке депонирования загрязняющих веществ в донные отложения можно с достаточной степенью достоверности характеризовать седиментационное очищение вод.

Исследование процессов формирования и динамики накопления органического вещества, а также уровня загрязнения тяжелыми металлами при вертикальном распределении донных отложений позволило определить корреляционные связи между содержанием органического углерода и повышенными концентрациями тяжелых металлов. Для проб поверхностного слоя корреляционные зависимости установлены между содержанием загрязняющих веществ и гранулометрическим составом донных отложений. Оценка степени накопления органического вещества и уровня загрязнения донных отложений позволила определить вероятность формирования устойчивых техногенных аномалий, соответствующих ареалам экологического риска и вероятного вторичного загрязнения шельфовых и прибрежных районов [12].

Проведенные исследования состояния донных отложений малых озер урбанизированных территорий Республики Карелии показали, что озерные осадки содержат от 30 до 70 % органических веществ. Показано, что тяжелые металлы являются основным фактором, позволяющим оценить степень деградации водных объектов. Выявленные закономерности распределения химических элементов в озерных донных отложениях в зависимости от геохимической специфики водосборной площади позволяют определить экологический риск водных систем [13].

Увеличение количества тяжелых металлов в окружающей среде и их негативное влияние на живые организмы обуславливают необходимость разработки методов оценки экологических рисков от загрязнения. Как правило, водные системы являются объектами поступления элементов, находящихся в окружающей среде. Токсичность и биологическая доступность являются одними из основных свойств элементов и зависят не только от концентрации металлов в воде, но и от геохимических показателей, при этом ионные формы большинства металлов обладают наибольшей биодоступностью. Растворенное органическое вещество вод способно нейтрализовать поступающие металлы, связывая их в органические кислоты, что снижает биодоступность и токсичность металлов для гидробионтов [14]. Как правило, металлы не поступают в водоем отдельно, наблюдается загрязнение разнообразными элементами. Проникновение их в организм в первую очередь определяется концентрацией и формами нахождения металлов в воде. При этом в биоорганизмах аккумуляция металлов отмечается в больших концентрациях, чем в окружающей среде, что приводит к возникновению токсичных эффектов. Показано, что определение комплексобразующей способности вод (КСК) основывается на выявлении связей между содержаниями органического вещества (лиганд) в воде и количеством металлов, связанных с органическим веществом. Ряд металлов по способности связывания с лигандами определяется различиями сродства металлов к координационным центрам. Наибольшей активностью обладает железо. Разработанная методика определения КСК основана на определении концентраций свободных ионов (методом натурных исследований или физико-химических вычислений) с учетом токсикологических свойств каждого элемента. Автор отмечает, что для других территорий набор металлов, их поведение и токсичные свойства будут видоизменяться, но разработанный методологический подход может быть использован при обосновании критических уровней металлов в других регионах с развитой горно-рудной и металлургической промышленностью.

Известно, что распределение химических элементов в поперечном сечении осадков в водных объектах дает представление как о техногенном воздействии на гидроэкосистемы, так и о природных геохимических характеристиках поведения микроэлементов.

Исследования состояния донных отложений по вертикали в небольшом водном объекте в городской черте отмечают интенсивное накопление микроэлементов в современном поверхностном слое (до 10 см). Наибольшие концентрации установлены для элементов, которые наиболее подвижны в различных геологических средах, – щелочных металлов (лития, рубидия и цезия).

Среди тяжелых металлов наиболее интенсивно накапливаются свинец, вольфрам и сурьма. Выявленные различия являются следствием наличия железомарганцевых образований в донных отложениях озер Карелии. Для нижних слоев донных отложений максимальные концентрации установлены для фосфора, урана, серебра, мышьяка, селена и редкоземельных элементов, что может быть следствием высокого регионального природного фона этих элементов [15].

Количественная оценка поступления металлов из донных отложений в воду наиболее актуальна для малых рек, составляющих основу водосборов рек более высокого порядка и характеризующихся малой водностью, и, как следствие, высокой уязвимостью к загрязнению в условиях антропогенного воздействия.

Образование техногенных отложений обусловлено изменением условий формирования твердого стока рек и поступлением в водные объекты значительных масс твердого материала, который имеет специфические геохимические свойства. Именно техногенные донные отложения являются концентраторами основной массы загрязняющих водные системы веществ, которые не только растворяются в воде, но и частично инактивируются, вступая во взаимодействие между собой (нейтрализация, комплексообразование и прочие реакции), или же образуют новые соединения, более токсичные, чем исходные.

В этой ситуации важнейшим источником информации о состоянии водных экосистем становится загрязненность донных отложений. Результаты исследования речных донных отложений позволяют установить наиболее неблагоприятные в экологическом отношении участки реки и в конечном счете скорректировать состав и объем мониторинга речного бассейна, выявить и нейтрализовать источники загрязнения.

Статистический анализ [16] результатов исследования содержания восьми тяжелых металлов (железо, цинк, алюминий, марганец, медь, хром, свинец, никель) в воде реки Миасс на территории Челябинской области с 1977 по 2014 гг. отмечает, что напряженность экологической ситуации на реке обусловлена главным образом действием антропогенного фактора, что приводит к снижению самоочищающей способности и утрате речной экосистемой способности к самовосстановлению.

Содержание тяжёлых металлов в воде, донных отложениях и биоте является одним из показателей загрязнения водоёма и общей антропогенной нагрузки. Донные отложения, аккумулируя загрязняющие вещества, выполняют функции интегрального индикатора антропогенной нагрузки за счет их геохимической консервативности.

Экспериментальная часть

Объектами изучения являются вода и донные отложения на участках реки с различной антропогенной нагрузкой в пределах городской застройки. Исследования проведены в створах, которые относились к различным функциональным зонам города и отличались типом территории застройки, транспортной инфраструктурой, направлением использования и состоянием водохранной зоны и прибрежной полосы. Работа проводилась в период 2019–2021 года (весна – осень).

Физико-химические исследования проведены на оборудовании научно-образовательного центра «Нанотехнологии» Южно-Уральского государственного университета.

Для исследований применяли реактивы, имеющие квалификацию не ниже «ХЧ». Дополнительной очистке реактивы не подвергали.

Рентгенофлуоресцентный анализ золы и твёрдых проб (ДО и почв) выполнен на спектрометре Rigaku Supermini. Производитель: Rigaku Corporation, Япония. Рентгенофлуоресцентный анализ производили в атмосфере гелия в элементном диапазоне F-U. Полученные значения нормализованы к детектированным элементам.

Концентрации веществ определяли при помощи вольтамперометрического анализатора «Экотест-ВА» с использованием электрохимического датчика «Модуль ЕМ-04» с вращающимся углесталловым дисковым электродом. Для удаления органических веществ применяли фотолитическую камеру «ФК-12М». Мешающее влияние ионов устраняли их адсорбцией на концентрирующем патроне «ДИАПАК-ИДК».

Обсуждение результатов

Исследование загрязнения реки и донных отложений осуществлялось на участках с различной антропогенной нагрузкой в пределах городской застройки.

Поступление взвешенных частиц в водный объект происходит в результате смыва твердых частичек с примыкающей водосборной поверхности дождями и талыми водами, возможно поступление и при сбросе сточных вод.

Достаточно значительная часть не растворяющихся взвешенных веществ выпадает на дно, формируя донные отложения и способствуя заилению водоема. Скорость и расстояние осаждения меняются в значительных пределах в зависимости от гранулометрического состава [17]. Перераспределение химических элементов в системе «вода – донные отложения» происходит как под действием природных процессов, так и техногенных факторов [18, 19].

Для Южного Урала геохимия основных депонирующих сред (почвы и донных отложений) характеризуется техногенно-аккумулятивным типом накопления химических элементов, находящихся в природе преимущественно в форме сульфидов, в виде катионов (Ag, Hg, Cu, Pb, Cd, Bi, Zn, Sb), и неметаллов – в виде анионов (S, Se, Te, As), формированием кислой среды в поровом пространстве донных отложений. Преимущественными формами фиксации техногенно накопленных элементов в депонирующих средах являются формы, связанные с фракциями гидроксидов Fe и Mn и органической матрицей [20].

В работе [21] показана роль техногенных факторов в формировании гидрохимического режима реки Миасс и отмечено, что на участках техногенеза самоочищающаяся способность почв, вод и донных отложений практически исчерпана. В исследованиях [22] отмечается, что с позиций геохимии ландшафтов почвы урбанизированных территорий представляют собой своеобразные техногенные геохимические провинции широкого круга химических элементов.

Для определения загрязнения реки и её антропогенной нагрузки были отобраны пробы воды и донных отложений на определенных участках реки.

В настоящее время в городской черте антропогенная нагрузка на реку снижена за счет частичного исключения сброса производственных сточных вод.

Результаты исследований химического состава поверхностных вод и донных отложений приведены в таблице.

Содержание элементов в воде и донных отложениях, масс. %

Компоненты	Точки отбора проб					
	Вода (т. 1.1)	ДО (т. 1.2)	вода (т. 2.1)	ДО (т. 2.2)	вода (т. 3.1)	ДО (т. 3.2)
pH, ед	7,35		7,18		7,34	
Na	0	0,4176	0	0,2358	15,1213	0
Mg	7,166	2,3196	4,0886	1,2058	3,9355	3,015
Al	4,016	9,6581	3,5551	14,1641	0,9161	12,9443
Si	10,94	40,3392	8,8547	49,9158	2,8272	42,246
P	1,032	0,6613	0	0,2788	0	0,6282
S	9,089	1,1583	10,0398	0,4559	19,7258	3,6966
Cl	2,446	0,2757	0	0,1794	18,6361	0,7257
K	0	5,5577	0	6,8462	5,1995	6,5811
Ca	10,47	9,105	0	4,8504	17,2772	11,0092
Ti	0	1,9893	0	1,7015	0	1,8072
Cr	7,911	0,3412	9,3461	0,3909	17,2772	0,8148
Mn	0	4,4803	0	0,5997	0	0,4622
Fe	33,39	23,0983	9,3461	0,5997	9,7413	13,3854
Ni	5,021	0	0	0,1765	1,0879	0,3305
Zn	0	0	0	0,1311	0	0,5499
Ag	8,521	0,5984	34,7481	0	0	1,8039

В донных отложениях установлено присутствие более 15 элементов, максимальные содержания среди которых характерны для Si, Al, Cr и Fe.

Участок реки, на котором отсутствуют поступления промышленных сточных вод (т. 1.1 и т. 1.2), характеризуется следующими концентрационными рядами убывания: вода: $\text{Fe} > \text{Ca} > \text{Si} > \text{Ag} > \text{Cr} > \text{Mg} > \text{Ni} > \text{Al}$; донные отложения: $\text{Si} > \text{Fe} > \text{Al} > \text{Ca} > \text{Mn} > \text{Mg} > \text{Ti} > \text{Ag} > \text{Cr}$.

Известно, что минеральную часть всех групп почв составляют силикаты и алюмосиликаты, доминирующими компонентами которых являются соединения кремния, алюминия, железа и кальция. В состав почв входят в значительных количествах соединения Mg , Ca , Na , Ti , Mn , P (фосфаты), S (сульфаты) и неорганического C (карбонаты).

Преобладание этих элементов в воде и донных отложениях отражает процессы выщелачивания, происходящие в природных условиях. Присутствие в воде и донных отложениях хрома и никеля отражает поступление веществ, содержащих эти элементы в атмосфере или на водосборной площади, при выпадении осадков и образовании поверхностного стока с территории водосбора. Значительное количество серы как в воде, так и в донных отложениях свидетельствует о техногенном накоплении элементов, которые находятся преимущественно в форме сульфидов и катионов [20], что также подтверждается присутствием ионов серебра как в воде, так и в донных отложениях.

Значительная концентрация фосфора в воде и донных отложениях отражает внутриводоёмные процессы. Как правило, концентрация фосфатов в природных водах низкая, избыточное содержание фосфатов в воде является отражением бытовой деятельностью человека и разлагающейся биомассы, высокая концентрация фосфора приводит к резкому неконтролируемому приросту растительной биомассы водного объекта (это особенно характерно для непроточных и малопроточных водоемов).

Качество воды и донных отложений по содержанию химических элементов характеризует преимущественно природный геохимический фон – антропогенная нагрузка на водосборные прибрежные участки выражается рекреационным использованием территории.

Участок реки от контрольной точки (т. 1.1; т. 1.2) до контрольной точки (т. 2.1; т. 2.2) относится к территории жилого района, непосредственно в месте отбора проб располагается крупный торговый центр. В береговой зоне проходит нагруженная городская автомагистраль. Состав воды и донных отложений характеризуется следующими показателями: концентрационный ряд убывания металлов в воде: $\text{Ag} > \text{Cr} > \text{Fe} > \text{Si} > \text{Mg} > \text{Al}$, для донных отложений: $\text{Si} > \text{Al} > \text{Ca} > \text{Ti} > \text{Mg} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Zn}$.

Состав донных отложений характеризуются присутствием элементов, которые могут накапливаться за счет поступления загрязняющих веществ антропогенного характера, присутствующих на водосборной площади и в атмосфере городского района и вносимых неорганизованным поверхностным стоком с прилегающих территорий с талыми водами частиц песка, используемых при проведении противогололёдных мероприятий. Отмечается присутствие в донных отложениях таких элементов, как никель и цинк.

Изменение величины pH в сторону более кислых вод приводит к изменению миграционных процессов тяжёлых металлов (исключение составляет хром) из воды в донные отложения. Содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях отражает состояние атмосферы и водосборной площади, с которой осуществляется диффузное поступление дождевых и талых вод. Наличие фосфора отмечено только в донных отложениях, что характеризует присутствие в донных отложениях частиц ила, образующегося при разложении растительной биомассы, присутствующей в большом количестве (тростник, рогоз).

Ниже по течению реки осуществляется сброс очищенных промышленных сточных вод (т. 3.1; т. 3.2). Донные отложения в месте отбора проб представляют собой илистые образования серовато-черного цвета, содержащиеся в основном в прибрежных участках реки по ходу течения воды. Состав воды и донных объектов характеризуется следующими показателями: концентрационный ряд убывания воды: $\text{Ca} > \text{Cr} > \text{Fe} > \text{Mg} > \text{Si} > \text{Ni} > \text{Al}$; донных отложений: $\text{Si} > \text{Fe} > \text{Al} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{Ti} > \text{Ag} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Ni}$. В составе воды и донных отложениях увеличивается концентрация элементов антропогенного происхождения – хрома, никеля, цинка.

Для всех контрольных точек характерно присутствие в воде и донных отложениях таких элементов, как хлор и сера (хлориды Cl^- и сульфаты SO_4^{2-}).

Присутствие фосфора наблюдается только в донных отложениях, что характеризует присутствие в донных отложениях частиц ила, образующегося при разложении растительной биомассы,

присутствующей в большом количестве не только в виде растительности (тростник, рогоз), но и в виде потопленных и упавших деревьев.

Необходимо отметить, что для распределения элементов в воде и илах в пределах города характерна типичная для зон загрязнения пространственная неоднородность.

Состояние воды и донных отложений для участков, преимущественно не подверженных техногенной нагрузке (т. 1.1; т. 1.2; и т. 2.1; т. 2.2), характеризует, что интенсивность естественных процессов самоочищения, как правило, несравнима с потоком поступающих в водную среду загрязняющих веществ.

В общем случае формирование техногенных илов происходит за счет смешения в русле реки двух транспортных потоков разнородного осадочного материала – техногенного и природного. При этом решающее значение в создании литологических и геохимических пространственных различий техногенных илов имеют чисто физические процессы – механический разнос и фракционирование твердых фаз. Тем не менее, в образовании илов определенную роль играют и химико-биогенные процессы, главным образом на стадии вторичного их преобразования, особенно на участках смешения сточных вод с речными и при возможных в условиях техногенеза резких изменениях физико-химических условий среды осадконакопления.

Накопление техногенных илов в руслах и долинах рек в зонах влияния городов и промышленных предприятий можно рассматривать как несанкционированное размещение в окружающей среде опасных отходов. В свою очередь оценка экологического состояния речных систем в таких районах должна проводиться с учетом масштабов распространения техногенных илов в речных руслах, их вещественного состава, геохимических свойств и токсикологической опасности. В критических ситуациях необходимы изъятие и утилизация техногенных илов, являющихся концентраторами основной массы присутствующих в водотоках городских агломераций загрязняющих веществ, что требует разработки соответствующих технологий [7, 23–25].

Полученные данные свидетельствуют о том, что практически для всех створов интенсивность естественных процессов самоочищения, как правило, несравнима с потоком поступающих в водную среду загрязняющих веществ.

В целях улучшения качественных показателей воды в 2020–2021 годах проводилась санитарно-эстетическая очистка реки от кустарниковой и водной растительности без изъятия накопленных донных отложений, ликвидации застойных зон и намывных островов. Одним из проведенных мероприятий явилось сужение русла реки на участке расположения створа № 2, что привело к увеличению скорости течения реки ниже по течению и к появлению небольшой застойной зоны выше по течению. Пробы воды, отобранные осенью 2021 года, показали увеличение содержания нитрат-ионов в пробе, отобранной на выходе из застойной зоны. Концентрация нитрат ионов составляла ~ 5 мг/л, на участке выше по течению – 1,4 мг/л, на территории ниже по течению с сохранившейся водной растительностью – 11,2 мг/л. Непосредственно в створе № 2 осаждения взвешенных веществ не наблюдалось.

Концентрация нитрат-ионов в поверхностных водоемах подвержена сезонным колебаниям: минимальная концентрация наблюдается в вегетационный период, её увеличение происходит осенью и максимального значения она достигает зимой, когда при минимальном потреблении азота происходит разложение органических веществ и переход азота из органических форм в минеральные. Амплитуда сезонных колебаний может служить одним из показателей эвтрофирования водного объекта. С увеличением эвтрофикации абсолютная концентрация нитратного азота возрастает, что выявлено на участке с водной растительностью.

Таким образом, анализ полученных данных свидетельствует о том, что качество воды и донных отложений в реке и городской черте преимущественно отражает состояние водоохраной зоны и характер поступления загрязняющих веществ в водоем.

Заключение

Проведен анализ состояния реки в пределах городской черты, исследовано содержание загрязняющих веществ в воде и донных отложениях.

Распределение элементов в воде и донных осадках в пределах города характеризуется пространственной неоднородностью.

Для участков реки, не подверженных техногенной нагрузке, качество воды и донных отложений по содержанию химических элементов отражает состояние атмосферы и водосборной

площади, с которой осуществляется диффузное поступление дождевых и талых вод, и характеризует преимущественно природный геохимический фон.

Сброс производственных сточных вод приводит к увеличению в составе воды и донных отложений элементов антропогенного происхождения – хрома, никеля, цинка.

Увеличение заиленности донных отложений способствует возрастанию концентрации металлов в них. Повышенное содержание металлов в донных отложениях отмечено на участках с замедленным стоком.

Список источников

1. Методическое обеспечение мониторинга загрязнения водных объектов Азово-Черноморского бассейна / Т.О. Барабашин, И.В. Кораблина, Л.Ф. Павленко, Г.В. Скрыпник, Л.И. Короткова // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1, № 3–4. С. 9–27.
2. Савичев О.Г. Исследование взаимосвязей между химическим составом вод и донных отложений рек Сибири // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330, № 5. С. 178–188.
3. Толкачев Г.Ю. Оценка влияния поровых растворов донных отложений и подземных вод на качество воды Иваньковского водохранилища // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 5-1(83). С. 48–52.
4. Касимов Н.С., Корляков И.Д., Кошелева Н.Е. Распределение и факторы аккумуляции тяжелых металлов и металлоидов в речных донных отложениях на территории г. Улан-Удэ // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. № 3. С. 380–395.
5. Янин Е.П. Техногенез и его роль в формировании состава органического вещества речных отложений // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2015. № 9. С. 3–16.
6. Янин Е.П. Формы нахождения тяжелых металлов в техногенных речных илах // Разведка и охрана недр. 2016. № 11. С. 54–59.
7. Янин Е.П. Геохимия речной эпифитовзвеси в зоне влияния промышленного города. – НП «АРСО», 2020. 139 с.
8. Химический состав и токсичность донных отложений малых водотоков Санкт-Петербурга / А.Ю. Опекунов, Е.С. Митрофанова, В.В. Спасский, М.Г. Опекунова, Н.А. Шейнерман, А.В. Чернышова // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 2. С. 282–293.
9. Шабанов М.В. Геохимия донных отложений рек Красноуральского промузла // Известия УГГУ. 2019. Вып. 3(55). С. 72–78. DOI: 10.21440/2307-2091-2019-3-72-78.
10. К определению нормативов допустимого воздействия по привносу химических и взвешенных веществ на прибрежные морские акватории Японского моря на примере бухты Золотой рог / Н.Н. Бортин, В.М. Милаев, А.М. Горчаков, А.А. Белевцов // Тезисы докладов всероссийской научной конференции. Моря России: исследования береговой и шельфовой зон. Севастополь: ФГБУН ФИЦ МГИ, 2020. С. 368–370.
11. Буфетова М.В. Оценка предельно допустимых потоков тяжелых металлов в Азовское море // Тезисы докладов всероссийской научной конференции. Моря России: исследования береговой и шельфовой зон. Севастополь: ФГБУН ФИЦ МГИ, 2020. С. 374–376.
12. Распределения загрязняющих веществ в донных отложениях Бакальской бухты (Черное море) / Е.А. Котельянец, К.И. Гуров, Е.А. Тихонова, С.И. Кондратьев, И.А. Забегаев // Тезисы докладов всероссийской научной конференции. Моря России: исследования береговой и шельфовой зон. Севастополь: ФГБУН ФИЦ МГИ, 2020. С. 420–421.
13. Слуковский З.И. Оценка фоновых концентраций тяжелых металлов и других химических элементов в донных отложениях малых озер юга Карелии // Вестник МГТУ. 2020. Т. 23, № 1. С. 80–92. DOI: 10.21443/1560-9278-2020-23-1-80-92.
14. Моисеенко Т.И. Биодоступность и экотоксичность металлов в водных объектах: критические уровни загрязнения // Геохимия. 2019. Т. 64, № 7. С. 675–688. DOI: 10.31857/S0016-7525647675-688.
15. Слуковский З.И., Медведев А.С. Вертикальное распределение микроэлементов в донных отложениях малого озера в условиях урбанизированной среды // Вода: Химия и Экология. 2015. № 3. С. 77–82.
16. Верхотурцева А.С. Статистический анализ содержания тяжелых металлов в воде на примере реки Миасс Челябинской области // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. Рубрика: Биологические науки. 2016. № 10. С. 42–47.

17. Боровков В.С. Руслловые процессы и динамика речных потоков на урбанизированных территориях. Л.: Гидрометеоиздат. 1989.
18. Романова Т.И., Самарин В.А. Особенности химического состава поверхностных вод и донных отложений рек и озер ХМАО-ЮГРЫ // Международный научно-исследовательский журнал, г. Екатеринбург. 2019. № 12 (90). Часть 1. С. 154–163. DOI: 10.23670/IRJ.2019.90.12.030.
19. Савичев О.Г., Базанов В.А. Химический состав донных отложений реки Васюган и ее притоков // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309. № 3. С. 37–41.
20. Эколого-гидрохимические особенности современных техногенных водоемов (на примере Уральского региона) / О.М. Гуман, А.Б. Макаров, И.А. Антонова, Г.Г. Хасанова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2018. №1. С. 148–154.
21. Мишурина О.А. Влияние природных и техногенных факторов на формирование гидро-техногенных образований на территории ГОКОВ // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 12–1. С. 82–85.
22. Громова В.А., Шестакова Т.В., Липатникова О.А. Эколого-геохимическая оценка состояния поверхностных водотоков в зоне влияния хвостохранилища Урупского горно-обогатительного комбината // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2016. (5). С. 39–46.
23. Искандарова Ш.Т., Усманов И.А., Хасанова М.И. Влияние донных отложений на качество воды малых рек // Экология и строительство. 2019. № 1. С. 19–23. DOI: 10.35688/2413-8452-2019-01-003.
24. Современные антропогенные отложения и их роль для оценки экологического состояния урбанизированных территорий / А.А. Селезнев, И.В. Ярмошенко, А.С. Савастьянова, А.Б. Макаров // Известия Уральского государственного горного университета. Науки о Земле. 2017. Вып. 1 (45). С. 44–49.
25. Опекунов А.Ю., Митрофанова Е.С., Опекунова М.Г. Техногенная трансформация состава донных отложений рек и каналов С-Петербурга // Геология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2017. № 4. С. 48–61.

Ницкая Светлана Георгиевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры экологии и химической технологии, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск). E-mail: nitckaiasg@susu.ru

Антоненко Ирина Владимировна – кандидат химических наук, доцент кафедры экологии и химической технологии, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск). E-mail: antonenkoiv@susu.

Поступила в редакцию 6 октября 2022 г.

DOI: 10.14529/chem2301114

MICROELEMENT COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS OF WATER BODIES IN URBAN CONDITIONS

S.G. Nitskaya, nitckaiasg@susu.ru

I.V. Antonenko, antonenkoiv@susu

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Under the urbanization conditions there is an increase in the technogenic impact on water bodies, which is most clearly manifested in water bodies located on the territory of residential development. The value of reservoirs in cities lies in the possibility of using them as recreation places. Pollutants enter such water bodies with organized wastewater from industrial production and urban storm water. However, in a significant part of urban areas, the system of surface runoff is not organized. In this case, rain and snowmelt runoff enters water bodies disorderly (diffusely). Pollutants decrease the quality of natural waters, disrupt the functioning of aquatic ecosystems and reduce the self-purification ability. As a result, there is an intensification of the processes of

eutrophication of water bodies, swamping and disturbance of local biocenoses. Pollutants entering surface water bodies accumulate in bottom sediments and create secondary pollution of rivers. Bottom sediments of reservoirs are accumulators of heavy metals. Due to sorption processes, water is purified from heavy metals, but under certain conditions the desorption of metals and their transition, when in the dissolved state, into the water column are observed, thus, secondary pollution occurs. In this study, the influence of the state of the catchment area on water quality in a reservoir, the content of pollutants in water and bottom sediments have been investigated. It is shown that the quality of water and bottom sediments in terms of content of chemical elements is determined by the type of anthropogenic load. For the river sections, not subject to technogenic load, the main influence is the state of the atmosphere and catchment area, from which the diffuse flow of rain and melt water occurs. The composition of heavy metals in water and bottom sediments mainly characterizes the natural geochemical background. The discharge of industrial wastewater leads to an increase of elements of anthropogenic origin in the composition of water and bottom sediments.

Keywords: anthropogenic load, urbanized territories, water bodies, bottom sediments, pollution, self-cleaning capacity of water bodies

Received 6 October 2022

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Ницкая С.Г., Антоненко И.В. Микроэлементный состав донных отложений водных объектов в условиях городской застройки // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». 2023. Т. 15, № 1. С. 149–158. DOI: 10.14529/chem230114

FOR CITATION

Nitskaya S.G., Antonenko I.V. Microelement composition of bottom sediments of water bodies in urban conditions. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2023;15(1):149–158. (In Russ.). DOI: 10.14529/chem230114
