

Стоящева, Н.Ю. Курепина // География и природные ресурсы. – 2014. – № 3. – С. 135–142.

20. Папина Т.С. Гидрохимические и химико-аналитические работы по исследованию водных экосистем р. Катунь и её притоков / Т.С. Папина, Е.И. Третьякова // Катунский проект: проблемы экспертизы: мат-лы общ.-науч. конф. (13-15 апреля 1990 г.). – Новосибирск, 1990. – С. 15–22.

21. Ким Г.В. Морфологические аномалии диатомовых водорослей фитоэпилитона как индикаторы качества воды водотоков и водоемов Горного Алтая / Г.В. Ким // Мир науки, культуры, образования. – 2013. – №5(42). – С. 444–449.

22. Куликова-Хлебникова Е.Н. Хлороорганические пестициды в природных средах на территории Республики Алтай: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Е.Н. Куликова-Хлебникова. – Томск, 2013. – 19 с.

ТЕХНОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ФОРМЫ ИХ ПОСТУПЛЕНИЯ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Кочарян А.Г., Лебедева И.П.
Институт водных проблем РАН, г. Москва
iplebed@gmail.com

Неуклонный рост населения на Земле и необходимого для его существования производства и потребления приводит к росту номенклатуры и количества элементов, добываемых из недр и вовлеченных в хозяйственное использование. Если в 18-ом веке использовались 28 элементов, в 19 веке – 62, в 1915 г. – 71, то в настоящее время находят применение практически все известные элементы. Информативной характеристикой интенсивности извлечения и использования химических элементов является технофильность – отношение ежегодной добычи или производства элементов в тоннах к его кларку в литосфере (табл. 1).

Современный этап научно-технического развития характеризуется удвоением производства каждые 15 лет. Это приводит к дальнейшему росту технофильности элементов и существенному увеличению объемов газообразных, жидких и твердых отходов, поступающих в окружающую среду. Мировое хозяйство ежегодно выбрасывает в атмосферу более 120 млн. т золы. Только в России го-

довой объем сточных вод составляет почти 70 млрд м³, из них менее 3 млрд м³ проходят очистку. Уровень накопления твердых отходов составляет ежегодно на одного человека 10–15 т, а степень их утилизации невелика: 10–25 % [2].

Таблица 1 – Коэффициенты технофильности различных химических элементов [1]

Элемент	Коэффициент технофильности	Элемент	Коэффициент технофильности
C (уголь, нефть)	1011	I, W, U, Ni, F, Ba, Mn, Fe, P	108
Bi, Hg, Sb, Pb, Cu, Cl	1010	Pt, Na, K, B, Co, Zr	107
Ca, Se, Ag, As, Mo, Sn, Cr, Zn, S	109	Al, Mg, Ge, Be, Li, V, Sr	106

Исследования последних десятилетий свидетельствуют о том, что происходит не только организованное поступление тяжелых металлов (ТМ) в природную среду, но и огромное по масштабу техногенное рассеяние элементов и их соединений, которое необходимо учитывать при оценке уровней загрязнения водоемов и их водосборных территорий [3]. Тяжелые металлы поступают в водные объекты от разнообразных источников – внешних и внутренних.

К внешним источникам относятся все поступления:

- от промышленных, коммунальных и поверхностных сточных вод, содержащих ТМ, с городских территорий, промплощадок и дорожных покрытий;
- с поверхностным, внутрипочвенным и подземным стоком с сельскохозяйственных угодий и диффузных аномалий;
- с атмосферными осадками и аэрозолями;
- поступления с почвенно-грунтовыми водами, загрязненными отвалами золы, шлаками руд, шламами, осадками очистных сооружений; поступлениями от хвостохранилищ, свалок ТБО.

К внутренним источникам относятся: донные отложения водных объектов, загрязненные в результате техногенного воздействия и создающие вторичные загрязнения вод. Промышленные, сельскохозяйственные, коммунальные источники характеризуются большим разнообразием, широкой комплексностью и высокой вариабельностью поступающих в природную среду элементов. Ниже дается перечень приоритетных загрязняющих веществ от отдельных видов производства (табл. 2).

Таблица 2 – Перечень приоритетных ТМ от отдельных видов производства.

Вид производства	Приоритетные ТМ
Черная металлургия	Ni, Mn, Zn, Pb, Cu, Cd, Cr, As, W
Цветная металлургия	Cu, Zn, Pb, Mn, Hg, Cr, Sn, W, Bi, Cd, Mo
Машиностроение	Hg, Cr, Cd, Cu, Pb, Ni, Zn, W, Sn, Sb, Co
Приборостроение	Cr, Ni, W, Pb, Cd, Zn, Cu, Sn, Hg, Ag, Co, Bi
Химическая промышленность	Hg, Cd, Zn, As, F, Sn, Cr, Cu, Sr, Pb, Ag, Mo, Co, W
Городское хозяйство	Zn, Ni, Cu, Cr, Hg, Sb, Ag, Pb, Cd
Свалки твердых бытовых отходов	Ag, Sn, Cd, Ni, Hg, Pb
Энергетика (тепловые электростанции, работающие на угле)	B, As, Sb, Se, Pb, W
Атомная промышленность	Отработанное ядерное топливо и продукты его переработки, радиоактивные вещества: уран, плутоний, цезий, стронций, йод, свинец, ниобий, рутений
Нефтедобыча и нефтепереработка	Pb, Cu, Ni, Mn, Zn
Добыча полезных ископаемых: - железных руд - полиметаллических руд - медно-никелевых руд - медно-молибденовых руд - ртутных руд	Mn, Pb, Zn, Cu, Ni, Zr, Mo, Fe, Co, V, Sn Cu, Zn, Pb, Ag, Cd, Sb, Ni, Bi, Co, Mo, Sn, W Cu, Ni, Co, Zn, Pb, Ag, Sn Cu, Mo, Ag, Pb, Cu, Ni, Bi Hg, Ba, Ag, Cu, Zn, Pb, Co, Ni, Mo, Sn
Сельское хозяйство: - минеральные удобрения - органические удобрения	Cr, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd, Co, Cr, As, Cu, Ba, Ni, V, Sr, B, Zr Pb, Cd, Ni, Cu, Zn, Mn, Sr, Cr

Почти повсеместное отсутствие локальных очистных сооружений для промышленных, коммунальных и поверхностных сточных вод привели к значительному загрязнению водных объектов России. Этому способствует и слабая эффективность биологической очистки от ТМ на городских станциях аэрации. Соотношение взвешенных форм нахождения ТМ с растворенными формами в стоках чаще всего значительно ниже, чем в природных поверхностных водах. Формы нахождения ТМ в жидкой фазе сточных вод практически не

изучены даже в широко распространенных стоках. При сбросе таких стоков в речную воду значительная часть растворенных форм ТМ переходит в твердую фазу, сорбируясь на речной взвеси, и поступает в донные отложения, образуя поток и загрязнения в них, создавая внутренний источник техногенного загрязнения.

Оставшаяся после этого часть ТМ распределяется по формам существования, характерным для данного водного объекта в соответствии с наличием в его водах тех или иных лигандов. Ясно, что эти источники ТМ определяют уровень загрязнения водных объектов. Они хорошо управляемы и могут контролироваться. Поверхностные сточные воды городов и промплощадок могут контролироваться только после канализования, накопления и очистки.

Очень серьезным источником загрязнения водных объектов и их водосборных территорий является аэральное загрязнение. Различают глобальное, региональное и локальные виды аэрального загрязнения. Источником глобального загрязнения являются природные процессы атмосферной миграции и техногенез. Глобальное загрязнение меняется со временем и неоднородно по пространственному распределению вещества. Часто этот вид аэрального загрязнения снегового и почвенного покрова образует глобальные литохимические и сноухимические аномалии в этих средах в масштабах, исчисляемых сотнями и тысячами квадратных километров.

Региональные аномалии формируются в крупных промышленных центрах и в их окрестностях, а их размеры могут измеряться сотнями километров. Учитывая, что такие аномалии создаются множеством предприятий различного профиля, можно констатировать, что атмосферный перенос создает аномалии, отличающиеся широким набором элементов, мозаичностью структуры аномалий, вариабельностью содержания элементов в почвенном покрове и растительности. В зависимости от типа производства, номенклатура и уровень концентрации элементов могут быть различными. Так, в районах производства черной и цветной металлургии формируются ассоциации: Ni, Cd, Zn, W, Co, Pb, Mo, Sb, Hg; в районах с преобладанием предприятий машиностроительного комплекса: Pb, Zn, W, Sn, Cd, Ag, Hg; в районах перерабатывающей промышленности: Cu, Zn, Pb, Mn, Ni. Как правило, особенности формирования геохимических ореолов определяются промышленной ориентацией городского хозяйства и масштабом производства.

Атмосферная составляющая является заметной, а часто и определяющей в приходной части баланса ТМ на водосборной площади. Исследования Е.А. Карповой в Московской области на агросистемах Долгопрудной, Раменской и Люберецкой агрохимических станциях, находящихся в пределах фоновых значений, и в Учебно-опытном почвенно-экологическом центре МГУ «Чашниково» убедительно показали доминирующую роль аэротехногенной нагрузки по ТМ в приходной части баланса для сельхозугодий, где применяются содержащие ТМ удобрения [4].

Особую опасность представляют контрастные локальные ореолы рассеяния тяжелых металлов в снежном и почвенном покровах в пределах городских территорий и вокруг них, которые также создаются атмосферным переносом. Это типичные техногенные геохимические локальные аномалии, отличающиеся вариабельностью содержания поэлементного состава, высокой контрастностью, мозаичностью и сложностью конфигурации.

Основная масса техногенно рассеянных элементов имеет довольно короткий атмосферный миграционный цикл, а размеры зон неблагоприятного воздействия загрязненных атмосферных осадков зависят от характера источника загрязнения, климатических и геоморфологических особенностей территории. Из атмосферы загрязняющие вещества поступают на подстилающую поверхность путем сухого осаждения или влажного вымывания. Чаще всего локальные зоны неблагоприятного воздействия не превышают 10 км. Ю.А. Сает с соавторами, к примеру, считают, что зоны влияния металлургических предприятий и крупных ТЭЦ не превышают 10 км, машиностроения – до 2 км, приборостроения – до 0,5 км, автотранспорта – до 0,1 км [5].

При аэральном поступлении тяжелых металлов основными формами их существования являются взвеси и катионные формы в растворе. В талых водах, поступающих с водосбора в водный объект, тяжелые металлы также присутствуют в катионных формах и взвесьях. По мере оттаивания почвенного покрова ТМ в талых водах вступают во взаимодействие с различными почвенными компонентами в условиях избирательного поглощения. Типичными сорбентами при этом являются гуминовые кислоты гумуса, глинистые минералы, гидроксиды железа, марганца, алюминия. Доля подвижных соединений ТМ в почве резко уменьшается. С внутрпочвенным стоком в водные объекты выносятся только воднорастворимые

формы тяжелых металлов. Наши исследования показали, что из подзолистых и дерново-подзолистых почв переходят в воду комплексные соединения металлов с фульвокислотами. Такие элементы, как медь, образуют комплексы в 99 % от валового содержания, медь – 99 %, цинк – в 56 %, железо – 81 %, марганец – 90 %. Оставшаяся часть элемента находится в ионной форме или в комплексе с неорганическими лигандами.

Еще одним существенным источником поступления ТМ в окружающую среду являются отвалы шлаков, руд, золы и шламов. В подобных источниках содержание металлов часто бывает очень высоким. Почвы и почвенно-грунтовые воды содержат повышенные концентрации таких элементов, как Cu, Cr, Ni, Cd, As, Hg, Sc, V, Pb, Mn. Для вод, дренирующих эти отвалы, характерно повышенное содержание сульфат-иона и низкий pH. Это приводит к активному выносу элементов в водные объекты и хорошей миграции в водах. Основная форма существования этих элементов – ионная.

Вокруг рудных месторождений формируются гидрохимические поля и вторичные ореолы рассеяния рудных элементов в почвах, коре выветривания, растительности и донных отложениях. Каждый тип месторождений характеризуется своим набором. Все это делает воды, омывающие месторождения полезных ископаемых, экологически опасными. Но самую серьезную опасность представляют эксплуатируемые месторождения. Из руд обычно извлекались основные элементы, а сопутствующие – оставались в отвалах горнообогатительных предприятий. В районах горнорудных и промышленных предприятий накопились значительные массы отвалов, содержащих самые разные наборы элементов, в том числе не извлеченные остатки основных и редких сопутствующих элементов. Эти отвалы находятся в окислительной обстановке, содержат элементы, в основном, в растворимых катионных и анионных формах.

Особенностью санкционированных и несанкционированных полигонов и свалок является наличие в свалочном фильтрате большого количества металлов (Pb, Hg, Cd, Ni, As, Sc, Ba, Cr, Zn, Sr, B, Cu, Zn, Ca) и органических соединений значительной токсичности. Так, по данным приведенным [6], на свалки поступает ежегодно около 10 т/год ртути. В перспективе рост поступлений ртути превысит 10 т/год. Около 9 млн. разбитых ртутных термометров, вывозимых на свалки в России, дает поступление в окружающую среду 18 т ртути ежегодно, из которых только 1 т идет на получение вто-

ричной ртути на специальных предприятиях. Формы нахождения ТМ в свалочном фильтрате не изучены. Литохимические ареалы металлов в донных осадках нередко приводят к вторичному загрязнению вод. Выход элементов из ДО происходит в катионной форме и в форме комплексов с органикой.

Знание форм существования тяжелых металлов, поступающих в водные объекты, необходимо для оценки их токсичности и перспектив дальнейшей миграции в окружающие среды. Приведенные данные показывают, что вопрос этот недостаточно изучен.

Огромное число существующих антропогенных источников загрязнения и многочисленные пути попадания загрязняющих веществ в различных формах в водные объекты необходимо учитывать и количественно оценивать при назначении водоохранных мероприятий в каждом конкретном речном бассейне.

Литература

1. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: «Астрей – 2000». 1999. 763 с.
2. *Мотузова Г.В., Карпова Е.А.* Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия. М.: МГУ. 2013. 304 с.
3. *Добровольский В.В.* География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль. 1983. 272 с.
4. *Карпова Е.А.* Эколого-агрохимические аспекты длительного применения удобрений: состояние тяжелых металлов в агросистемах // Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. докт. биолог. наук по спец. 06.01.04 Агрохимия. М. 2007.
5. *Саэт Ю.Е., Ревич Б. А., Янин Е.П.* и др. Геохимия окружающей среды. М. Недра. 1990. 335 с.
6. *Крайнов С.Р., Рыженко Б.И., Швец В.М.* Геохимия подземных вод. М.: Наука. 2004. 677 с.