

УДК 504.054

**ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ МАЛЫХ РЕК В ЧЕРТЕ Г. СИБАЯ****Бактыбаева З.Б.<sup>1</sup>, Сулейманов Р.А.<sup>1</sup>, Валеев Т.К.<sup>1</sup>, Рахматуллин Н.Р.<sup>1</sup>, Ямалов С.М.<sup>2</sup>,  
Кулагин А.А.<sup>3</sup>**<sup>1</sup>ФБУН «Уфимский НИИ медицины труда и экологии человека», Уфа, Россия<sup>2</sup>ФГБУН «Ботанический сад-институт Уфимского научного центра Российской академии наук», Уфа, Россия<sup>3</sup>ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы»,  
Уфа, Россия

*Малые реки, протекающие в черте городов с развитой промышленностью, испытывают значительную техногенную нагрузку. Ведущей причиной загрязнения водных объектов на урбанизированных территориях является сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод предприятиями. Актуальной экологической проблемой является прогрессирующее загрязнение водных объектов тяжелыми металлами. Из водоемов токсиканты по пищевым цепям попадают в организм человека. Обладая кумулятивными свойствами, тяжелые металлы могут проявлять мутагенные, тератогенные и канцерогенные свойства. В связи с тем, что здоровье человека в определенной степени зависит от факторов среды обитания, с усилением техногенеза возрастает и актуальность санитарно-гигиенического мониторинга окружающей среды. Целью исследований являлось изучение содержания Zn, Cu и Cd в воде, донных отложениях и фитомассе *Elodea canadensis* Michx. в реках Карагайлы и Камыш-Узяк, протекающих через г. Сибай. Измерения массовых концентраций металлов проводили методом инверсионной вольтамперометрии на приборе СТА. Результаты исследований показали, что для створов характерен следующий убывающий ряд элементов в речных компонентах: Zn > Cu > Cd. В пробах воды наблюдается превышение нормативов для водных объектов хозяйственно-питьевого, культурно-бытового водопользования и водоемов рыбохозяйственного значения. Концентрация цинка варьирует в пределах 0,069–5,24 мг/дм<sup>3</sup>; меди – 0,0015–0,0058 мг/дм<sup>3</sup>; кадмия – 0,00048–0,01 мг/дм<sup>3</sup>. Значение подвижных форм цинка в донных отложениях варьирует в пределах 1,12–5,26 мг/кг; меди – 0,12–2,38 мг/кг; кадмия – 0,008–0,092 мг/кг. В черте города концентрация цинка в наземной фитомассе элодеи канадской, по сравнению с фоновым створом, повышается в 1,5–3,5 раза, меди – 1,3–8 раз, кадмия – 1,9–6,7 раза. Полученные результаты свидетельствуют о потенциальной опасности водотоков для здоровья населения г. Сибая.*

**Ключевые слова:** малые реки, загрязнение, тяжелые металлы, горнорудные территории, донные отложения, *Elodea canadensis* Michx.

**TECHNOGENIC POLLUTION OF SMALL RIVERS WITHIN THE TOWN OF SIBAY****Baktybaeva Z.B.<sup>1</sup>, Suleymanov R.A.<sup>1</sup>, Valeev T.K.<sup>1</sup>, Rakhmatullin N.R.<sup>1</sup>, Yamalov S.M.<sup>2</sup>,  
Kulagin A.A.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ufa, Russia

<sup>2</sup>Botanical Garden-Institute, Ufa Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

<sup>3</sup>Bashkirian State Teachers Training University, Ufa, Russia

Small rivers within in a town with the developed industry are exposed to a significant anthropogenic pressure. The leading cause of water pollution in urban areas is the discharge of untreated or insufficiently treated wastewaters by enterprises. The actual environmental problem is intensive water pollution with heavy metals. From reservoirs toxicants enter the body through food items. Due to cumulative properties, heavy metals may be of mutagenic, teratogenic and carcinogenic nature. Due to the fact that human health to a certain extent depends on environmental factors, with increased technogenesis, sanitation and hygienic environmental monitoring is of great importance. The aim of the study was to investigate the content of Zn, Cu and Cd in the water, bottom sediments and biomass of *Elodea canadensis* Mich in the Karagaily and Kamish-Uzyak rivers flowing within Sibay. The measurements of mass concentrations of metals were performed by stripping voltammetry at the STA device. The results have shown that for the typical cross-sections the following decreasing numbers of elements in the river components are typical: Zn > Cu > Cd. In water samples, exceeding standards for water bodies of domestic, cultural and community water use and fishery are observed. The concentration of zinc varies from 0.069 to 5.24 mg/dm<sup>3</sup>; copper – 0.0015–0.0058 mg/dm<sup>3</sup>; cadmium – 0.00048–0.01 mg/dm<sup>3</sup>. The value of the mobile forms of zinc in the sediments varies between 1.12 and 5.26 mg/kg; copper – 0.12–2.38 mg/kg; cadmium – 0.008–0.092 mg/kg. In the city of zinc concentration in the aboveground biomass of *Elodea canadensis*, compared with background shots increases by 1.5–3.5 times, copper – 1.3–8 times, cadmium – 1.9–6.7 times. The results show the potential water-related health risks to the Sibay population.

**Key words:** *small rivers, pollution, heavy metals, mining areas, bottom sediments, Elodea canadensis Michx.*

Малые реки являются начальным звеном в формировании гидрологического, биологического и биохимического режимов средних и крупных водотоков. На территории Российской Федерации (РФ) малые реки и ручьи имеют ключевое гидролого-экологическое значение и составляют основу гидрографической сети. В их бассейнах проживает 44 % всего городского и 90 % сельского населения. Реки, протекающие в черте городов с развитой промышленностью, испытывают значительную техногенную нагрузку. Ведущей причиной загрязнения водных объектов на урбанизированных территориях является сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод предприятиями. Вследствие небольших объемов стока в малых реках процесс самоочищения протекает медленнее, поэтому длительное антропогенное воздействие часто приводит к деградации водных экосистем и снижению качества воды [5, 12]. Актуальной экологической проблемой следует считать прогрессирующее загрязнение водных объектов тяжелыми металлами (ТМ). Данная проблема особенно остро стоит в регионах с развитой горнодобывающей и рудоперерабатывающей промышленностью. Одним из основных районов интенсивного развития горного производства РФ является Уральский регион. Широкое использование водотоков на Урале началось еще в XVIII в. при разработке месторождений и строительстве

заводов. В настоящее время на водосборных площадях малых рек расположено значительное количество действующих и отработанных объектов горнопромышленного комплекса, являющихся источниками загрязнения компонентов водных экосистем тяжелыми металлами.

Из водоемов ТМ по пищевым цепям попадают в организм человека [9, 14]. Большинство ТМ считаются важными для жизни микроэлементами, но их избыточное поступление в организм может приводить к нарушениям метаболизма. Обладая кумулятивными свойствами, металлы могут проявлять мутагенные, тератогенные и канцерогенные свойства. Установлено, что загрязнение окружающей среды ТМ приводит к возрастанию показателей заболеваемости населения хроническими дерматозами, экземой, атопическим дерматитом, токсидермией. При длительном воздействии свинца и ртути могут иметь место нарушения памяти и вербальных способностей. Также было выявлено неблагоприятное влияние ТМ на функциональное состояние щитовидной железы [3, 6, 11, 13].

В связи с тем, что здоровье человека в определенной степени зависит от факторов среды обитания, с усилением техногенеза возрастает и актуальность санитарно-гигиенического мониторинга окружающей среды. Так как вода обладает высокой динамичностью, значение и достоверность результатов исследований, ограниченных только показателями загрязнителей в воде, снижается. В качестве природных индикаторных объектов могут быть использованы донные отложения и водные макрофиты, которые являются наиболее консервативными составляющими водных систем.

Целью данной работы было изучение содержания приоритетных ТМ в компонентах речных экосистем на территории г. Сибая.

#### **Материал и методы.**

Сибай расположен в Зауралье Республики Башкортостан. Градообразующим предприятием является Сибайский филиал Учалинского горно-обогатительного комбината (СФ УГОК), специализирующийся на добыче и обогащении медных и медно-цинковых руд. В состав СФ УГОК входят Сибайский и Камаганский карьеры, подземный рудник и обогатительная фабрика, функционирующая с середины прошлого века. Сибайский карьер начал разрабатываться в начале прошлого столетия, а в настоящее время добыча руды ведется подземным способом. Разработка Камаганского месторождения осуществляется с 2000-х годов.

По территории города протекает р. Карагайлы, берущая начало в восточных предгорьях хребта Ирэндик. Длина водотока составляет 28 км. Примерно в 10 км от истока река делится на два рукава, которые за пределами города впадают в р. Туяляс (Худолаз), являющейся правосторонним притоком р. Урал. Один из рукавов носит название Камыш-Узяк. Русла обеих рек имеют ширину от 2 до 6 метров с разливами до 200–250 м.

Основные источники загрязнения расположены вдоль русла Карагайлы, которая дренирует отвалы вскрышных пород Сибайского карьера, является приемником подотвальных и шахтных вод, городских биологических очистных сооружений, а также ливневых стоков с промплощадки обогатительной фабрики (рис. 1). В водоохранной зоне реки находятся старое и новое хвостохранилища и городская свалка бытовых отходов. Река Камыш-Узяк протекает вдоль отвалов Камаганского карьера и через частный сектор.

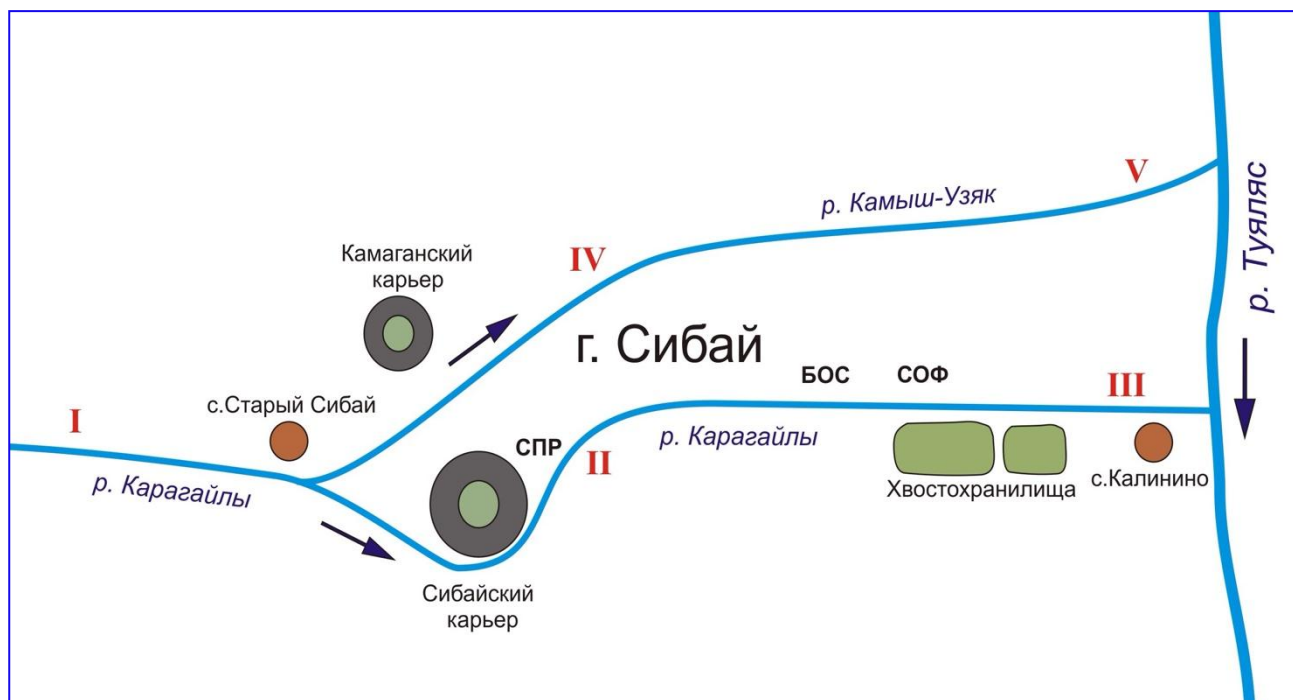


Рис. 1. Карта-схема исследуемой территории. I, II, III, IV, V – створы; СПР – Сибайский подземный рудник; БОС – биологические очистные сооружения; СОФ – Сибайская обогатительная фабрика

Источниками питьевого водоснабжения г. Сибая являются артезианские скважины. Реки Карагайлы и Камыш-Узяк используются для рыбохозяйственных целей, рекреации и хозяйственно-бытовых нужд населения.

Исследования проводили в 2014 г. в период максимального развития фитомассы водных макрофитов (август). Пробы отбирали в пяти створах: I – в верхнем течении реки, не загрязняемом производственными стоками (фоновый створ); II – в промышленной зоне г. Сибая; IV – в частном секторе г. Сибая ниже по течению от Камаганского карьера; III и V – за пределами города в устьях рек. В каждом створе в 5-кратной повторности были отобраны пробы воды, донных отложений и растительных образцов элодеи канадской (*Elodea canadensis* Michx.), которая широко распространена в водотоках Зауралья Республики Башкортостан [2] и служит пищей для гидробионтов. Отбор проб донных отложений проводили с глубины 0–20 см. В лабораторных условиях пробы грунта и макрофитов высушивали до воздушно-сухого состояния. Измерения массовых концентраций цинка, меди и кадмия проводили методом инверсионной вольтамперометрии на приборе СТА. В донных отложениях определяли подвижные формы тяжелых металлов, извлекаемые ацетатно-аммонийным буфером с pH 4,8. Статистическую обработку полученных результатов осуществляли общепринятыми методами с помощью программы «Microsoft Excel».

#### **Результаты и их обсуждение.**

Результаты анализов показали, что в целом для створов характерен следующий убывающий ряд металлов в речных компонентах: Zn > Cu > Cd. Исключение составляют пробы воды в створах II и III, где содержание кадмия выше, чем меди (табл. 1).

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях  
в створах рек Карагайлы и Камыш-Узяк ( $X \pm S_x$ )

Элемент	Створ				
	I	II	III	IV	V
Zn	<u>0,071±0,006</u>	<u>5,24±0,44</u>	<u>0,11±0,019</u>	<u>0,069±0,008</u>	<u>0,089±0,009</u>
	2,32±0,31	1,12±0,14	5,26±0,29	3,44±0,23	3,89±0,43
Cu	<u>0,003±0,0005</u>	<u>0,0032±0,0003</u>	<u>0,0058±0,0005</u>	<u>0,0020±0,003</u>	<u>0,0015±0,003</u>
	0,31±0,04	0,12±0,02	2,38±0,25	0,23±0,03	0,21±0,02
Cd	<u>0,00048±0,0001</u>	<u>0,010±0,0016</u>	<u>0,0062±0,0003</u>	<u>0,00072±0,0001</u>	<u>0,00051±0,0001</u>
	0,009±0,0005	0,008±0,001	0,092±0,019	0,011±0,001	0,008±0,001

Примечание: в числителе – в воде, мг/дм<sup>3</sup>, в знаменателе – в донных отложениях, мг/кг.

Сравнение полученных данных с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [4] показало, что содержание меди во всех пяти створах в пределах нормы. Концентрации цинка и кадмия в воде р. Камыш-Узяк также не превышают ПДК. На участке р. Карагайлы, загрязняемом подотвальными и шахтными водами (створ II), содержание цинка повышается до уровня 5 ПДК, кадмия – до 10 ПДК. Ниже по течению (створ III) концентрация цинка в воде снижается и находится в пределах нормы, содержание кадмия остается на уровне 6 ПДК.

При сопоставлении данных с нормативами для водоемов рыбохозяйственного значения [10] во всех створах отмечается превышение ПДК по цинку (от 7 до 524 раз) и меди (от 1 до 6 раз). В створе II также повышено содержание кадмия (2 ПДК). Некоторое превышение рыбохозяйственного норматива по цинку и меди в воде контрольного створа объясняется особенностями естественного геохимического фона региона, обусловленного рудной минерализацией.

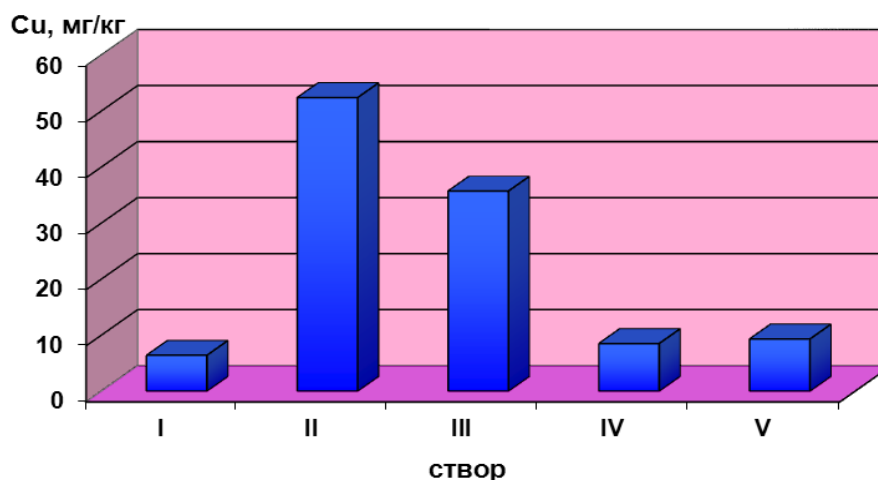
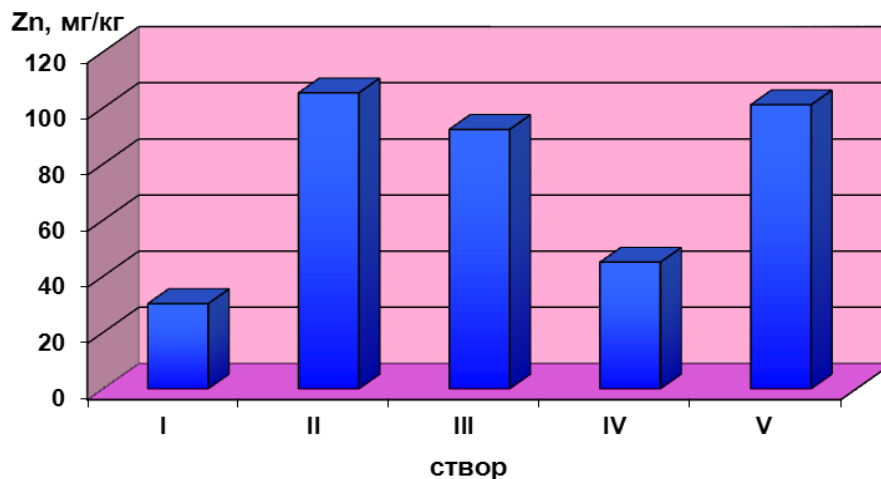
Для оценки миграционной способности ТМ, а также в качестве индикатора загрязнения водного объекта часто используют коэффициент донной аккумуляции (КДА), равный отношению концентрации вещества в грунте к его концентрации в воде [8]. Чем больше значение данного коэффициента, тем интенсивнее миграция металла из воды в донные осадки.

Расчеты выявили, что значения КДА варьируют в широком диапазоне: для меди от 38 (створ II) до 410 (III), для цинка от 0,2 (II) до 50 (IV), для кадмия от 0,8 (II) до 19 (I). Наиболее низкие значения КДА характерны для створа II, расположенного в промзоне г. Сибая. На данном участке водотока вследствие загрязнения кислыми (рН=2–4) подотвальными стоками рН воды в р. Карагайлы снижается до 6–7. Известно, что при уменьшении значения рН происходит десорбция катионных форм ТМ с поверхности донных осадков и поступление их обратно в воду [1]. То есть, несмотря на то, что донные отложения являются депонирующей средой, при определенных условиях они могут выступать источником вторичного загрязнения водного объекта.

На подвижность и распределение ТМ в компонентах речных экосистем влияют и такие факторы, как температура и минерализация воды, окислительно-восстановительные условия, гидролиз, наличие органических и неорганических комплексообразователей. Четкое определение форм миграции ионов металлов в природных водах усложняется в связи со сложностью и многообразием этого процесса [7].

Так как в РФ отсутствуют нормативы содержания тяжелых металлов в донных отложениях, показатели створов II–V были сопоставлены с данными фонового створа. Значения подвижных форм металлов в донных осадках р. Камыш-Узьяк от фоновых отличаются незначительно. В р. Карагайлы концентрации ТМ в створе II ниже фоновых показателей, однако в устье реки содержание меди увеличивается в 20 раз, кадмия – в 10, цинка – в 5 раз.

Для оценки интенсивности вовлечения тяжелых металлов в трофические цепи необходимо изучение их накопления в растениях. На рисунке 2 показано содержание ТМ в фитомассе элодеи. По сравнению с фоновым створом концентрация цинка в черте города повышается в 1,5–3,5 раза, меди – 1,3–8 раз, кадмия – 1,9–6,7 раза. При этом больше всего ТМ было накоплено в растительных образцах створа II.



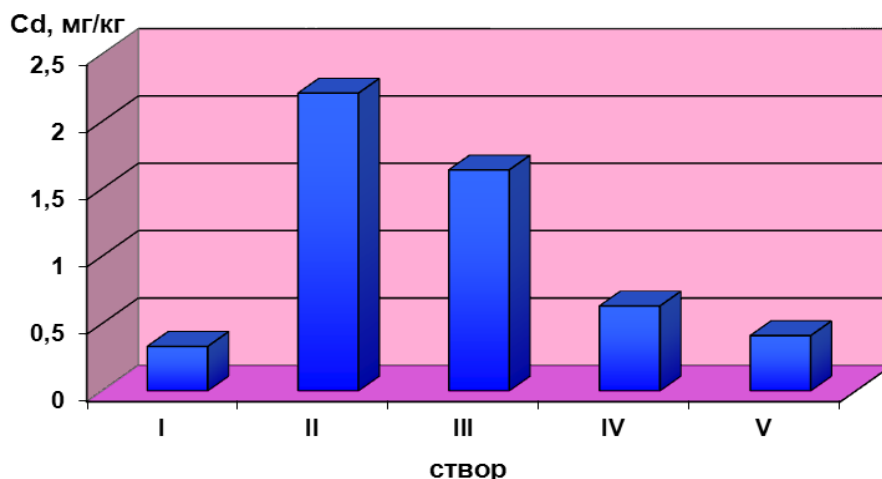


Рис. 2. Содержание цинка, меди и кадмия в надземной фитомассе элодеи канадской, мг/кг воздушно-сухого веса

Одним из наиболее значимых процессов в водоемах является самоочищение, которое происходит в результате химического преобразования токсичных веществ, их осаждения и биоаккумуляции. Длительно продолжающееся поступление токсикантов со стоками может привести к утрате водным объектом способности к самоочищению.

Анализ полученных данных показывает, что р. Карагайлы, которая на протяжении нескольких десятков лет является приемником производственных и бытовых стоков, утратила природную самоочищающую способность. Данный факт свидетельствует о предельной антропогенной нагрузке на водоток. Река Камыш-Узяк до впадения в р. Туяляс остается загрязненной ионами цинка.

#### **Заключение**

Таким образом, в результате техногенного загрязнения на территории г. Сибая в компонентах рек Карагайлы и Камыш-Узяк повышается содержание ТМ. Малая протяженность и небольшие объемы стока не позволяют водотокам очиститься от токсикантов до впадения в р. Туяляс. В результате этого происходит загрязнение более крупных водных объектов, в частности, р. Урал, являющейся трансграничной рекой между Российской Федерацией и Республикой Казахстан.

Выявленные превышения нормативов для водных объектов как рыбохозяйственного значения, так и хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования свидетельствуют о потенциальной опасности водотоков для здоровья населения г. Сибая.

#### **Список литературы:**

1. Влияние физико-химических факторов на содержание тяжелых металлов в водных экосистемах // О.А. Давыдова, Е.С. Климов, Е.С. Ваганова, А.С. Ваганов; под науч. ред. Е.С. Климова. – Ульяновск: УлГТУ, 2014. – 167 с.
2. Водная растительность Южного Урала (Республика Башкортостан). II. Класс Potametea / Я.М. Голованов, С.М. Ямалов, З.Б. Бактыбаева, С.С. Петров // Растительность России. – 2015. – № 27. – С. 40–77.

3. Гичев Ю.П. Загрязнение окружающей среды и экологическая обусловленность патологии человека: Аналитический обзор / Ю.П. Гичев. – Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2003. – 138 с. – (Сер. Экология. Вып. 68).
4. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – М., 2003.
5. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2014 году». Доступ к электронному ресурсу: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации [Офиц. сайт]. 14.04.2016. URL: <http://mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=142740>
6. Кожин А.А. Микроэлементозы в патологии человека экологической этиологии / А.А. Кожин // Экология человека. – 2013. – № 9. – С. 56–64.
7. Линник П.Н. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах / П.Н. Линник, Б.И. Набиванец. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 272 с.
8. Никаноров А.М. Хроническое загрязнение пресноводных объектов по данным о накоплении пестицидов, нефтепродуктов и других токсичных веществ в донных отложениях / А.М. Никаноров, А.Г. Страдомская // Водные ресурсы. – 2007. – № 3. – С. 337–344.
9. Перевозников М.А. Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах / М.А. Перевозников, Е.А. Богданова. – С.-Петербург: ГосНИОРХ, 1999. – 227 с.
10. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». – М., 2010.
11. Роль тяжелых металлов в возникновении репродуктивных нарушений / Н.М. Паранько, Э.Н. Белицкая, Т.Д. Землякова и др. // Гигиена и санитария. – 2002. – № 1. – С. 28–30.
12. Ткачев Б.П. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы = Smallrivers: state-of-the-art and ecological problems: Аналит. обзор / Б.П. Ткачев, В.И. Булатов. – Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2002. – 114 с. – (Сер. Экология. Вып. 64).
13. Тяжелые металлы как фактор возможных экологически обусловленных заболеваний в Астраханском регионе / В.С. Рыбкин, А.Н. Богданов, Ю.С. Чуйков, Г.А. Теплая // Гигиена и санитария. – 2014. – № 2. – С. 27–31.
14. Trace elements in the environment: biogeochemistry, biotechnology, and bioremediation / edited by M.N.V. Prasad, Kenneth S. Sajwan, Ravi Naidu. – Boca Raton: CRC/Taylor and Francis, 2005. – 744 p.