

© Н. С. ЛАРИНА<sup>1</sup>, В. Л. ГУСЕЛЬНИКОВ<sup>2</sup>, А. А. УСТИМЕНКО<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Тюменский государственный университет, <sup>2</sup>ООО «ПурЭкоКом»  
nslarina@yandex.ru

**КОМПЛЕКСНЫЙ ГЕОХИМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ  
ОЗЕРА ЦИМЛЯНСКОЕ (г. ТЮМЕНЬ)  
COMPREHENSIVE GEOCHEMICAL MONITORING  
OF LAKE TSIMLYANSKOE (TYUMEN)**

УДК 543.3

В работе представлена динамика развития одного из городских водоемов в г. Тюмень с использованием комплекса методов и объектов анализа. Приведены результаты мониторинга состояния воды озера за последние 10 лет, а также характер распределения ряда показателей (рН, электропроводность, потери при прокаливании) и некоторых металлов по глубине в донных отложениях озера. Послойный анализ тяжелых металлов в разрезе донных отложений показал увеличение содержания металлов в кислотной вытяжке ДО в поверхностном слое (0-5 см), что говорит об усилении антропогенной нагрузки на озеро, значительном поступлении металлов. Доля легкодоступных форм кадмия, марганца, цинка и свинца значительна, т. е. при изменении условий окружающей среды может произойти вторичное загрязнение водной толщи в результате мобилизации данных элементов. Загрязнение оз. Цимлянское в г. Тюмень возрастает и носит как природный, так и антропогенный характер.

The article presents dynamics in development of one of city reservoirs in Tyumen with the help of a complex of methods and objects of analysis. Results of the time-lapse survey revealing the state of water in the lake over the last 10 years are given in this study, as well as the distribution of a number of indices (pH, an electrical conductivity, losses of ignition) and some metals by depth in the sediments of the lake. The layer-by-layer analysis of heavy metals in sediments showed an increase of the content of metals in the acid extract of sediments in the surface layer (0-5th) that indicates intensification of anthropogenous load on the lake and considerable metal entry. The percentage of easily available forms of cadmium, manganese, zinc and lead is substantial, i.e. changes in environmental conditions may cause secondary pollution of the water layer as a result of mobilization of these elements. Pollution of Tsimlyanskoe lake in Tyumen increases and has both natural and anthropogenic nature.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** Озера, урбанизированные территории, мониторинг загрязнений, комплексный подход.

**KEY WORDS.** Lakes, urban territory, pollution, time-lapse survey, integrated approach.

**Введение.** Одной из наиболее актуальных глобальных и региональных экологических проблем является проблема антропогенного загрязнения водного бассейна, которое наносит огромный ущерб как природе, так и экономике [1; 2]. Загрязненные водоемы являются причиной необратимых изменений биогеоценозов [3]. Они становятся непригодными для питья, орошения, водоснабжения промышленности, коммунального хозяйства, нередко являются источниками инфекционных заболеваний человека и животных [4; 5]. Особой нагрузке подвержены водные объекты, расположенные на урбанизированной территории [6-8]. Наибольшую опасность с точки зрения качества воды всегда представляли тяжелые металлы и их соединения, характеризующиеся высокой токсичностью [9-11]. Эти вещества, накапливаясь в донных отложениях водоемов, могут при определенных условиях переходить обратно в водную массу. Массообмен тяжелых металлов в системе «вода — донные отложения» во многом зависит от форм их существования в донных отложениях [12-16]. Таким образом, исследование миграции тяжелых металлов и получение количественных оценок интенсивности их массообмена в этой системе является весьма актуальной задачей [17-19].

На территории г. Тюмень и рекреационных окрестностях расположено значительное количество водных объектов (более 20), которые активно используются населением в различных целях, поэтому комплексная оценка их состояния представляет несомненный интерес как с методологических позиций геохимических исследований (формирование состава вод, источники загрязнения, процессы самоочищения и др.), так и с безопасностью их использования в рекреационных целях.

В последнее время все чаще при мониторинге водных объектов не ограничиваются анализом воды и поверхностных донных отложений, а используют послыйный анализ колонки донных отложений. Такой подход в мониторинге позволяет не только оценить состояние водного объекта в исследуемый период, но и проследить динамику развития озера, охарактеризовать интенсивность антропогенной нагрузки [20]. Для установления источников поступления загрязняющих веществ необходимо проведение анализа осадков, а также почв водосборной площади. Получаемые в результате такого комплексного подхода результаты позволят дать исчерпывающую оценку состояния озера в настоящее время и в прошлом и при необходимости разработать меры для восстановления водных объектов урбанизированных территорий.

**Объекты и методы.** Озеро Цимлянское расположено в западной части г. Тюмень, севернее пансионата им. Оловянного, имеет У-образную форму. Длина основной части — 900 м, ширина изменяется от 40 до 100 м. Рядом с озером располагается база отдыха и сельскохозяйственные поля. Озеро окружено березовыми парковыми лесами. Травяно-кустарничковый ярус нарушен, представлен луговыми травами с участием сорных видов (подорожника, горца птичьего, бодяка, осота, щавеля конского). Вода мутная, имеет бурый цвет, даже в прибрежной зоне не прозрачна.

Наблюдения за гидрохимическим состоянием озера были начаты в 2004 г. Отбор проб воды проводился в 5 точках, расположенных в различных частях озера. В 2012 г. был проведен комплексный отбор проб — воды, 2 колонок донных отложений, почв (рис. 1). Отбор проб всех компонентов ландшафта

производился в соответствии с нормативными документами и общепринятыми методиками [21].

Колонки донных отложений отбирались буром Эйдельмана и делились на слои с шагом 1 см. Пробы высушивались при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния и измельчались.



Рис. 1. Местоположение оз. Цимлянское и места отбора проб воды, донных отложений и почв в 2012 г.

Ионный состав и биогенные элементы в воде, снеге и водной вытяжке (1:5) определялись методом ионной хроматографии (Dionex); рН и гидрокарбонаты — потенциометрическим методом; электропроводность — кондуктометрически; фосфаты — фотометрически. Тяжелые металлы определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии: в воде и снеге — с термической атомизацией («Спираль-17»), в донных отложениях и почве — с пламенной атомизацией пробы (ContrAA-700).

### Результаты эксперимента и обсуждение

**рН.** В период наблюдений рН поверхностной воды оз. Цимлянское (рис. 2а) изменялось в широких пределах: от 8,2 в 2006 г. до 6,0 в 2011 г., т. е. в течение этих 5 лет происходило довольно интенсивное закисление водоема. В 2012 г. рН воды близко к нейтральному, но заметно отличается по станциям: на ст. 1 —  $7,5 \pm 0,3$ , на ст. 2 —  $6,8 \pm 0,2$ . рН водной вытяжки почв на уровне этих станций одинаково (рН = 7,3). Среднее значение рН в донных отложениях ст. 1 составляет  $7,5 \pm 0,1$ , ст. 2 —  $7,4 \pm 0,3$ .

Распределение рН в колонках донных отложений неравномерное. На ст. 1 рН меняется в пределах единицы (от 7,04 до 8,20), в этой же области находится и рН воды, отобранной в 2012 г. Отмечается два максимума рН на глубинах 21 и 17 см, в верхних 6 см наблюдается устойчивое смещение рН в слабощелочную область. В нижнем слое (23-30 см) наблюдается равномерное распределение и среднее значение рН (7,5) соответствует среднему значению для этой колонки и рН почв в данной части озера.

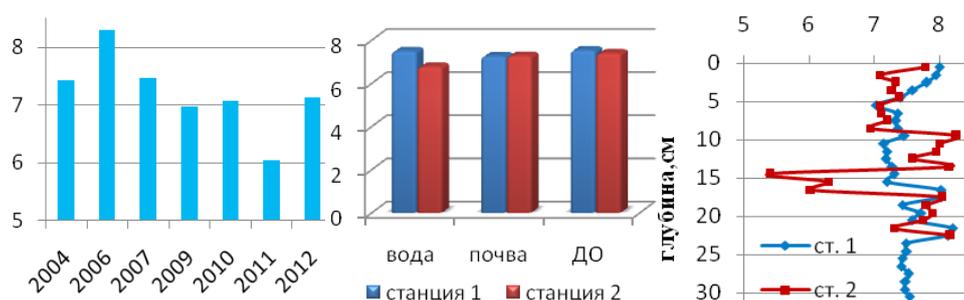


Рис. 2. Значения рН в пробах воды 2004-2012 гг. (а), воды, почв и ДО в 2012 г. (б) и распределение рН по колонкам донных отложений (в) в оз. Цимлянское

На ст. 2 изменение рН по разрезу более существенно (от 5,4 до 8,2). В нижней части колонки рН водной вытяжки имеют слабощелочную среду (около 8), в интервале 14-16 см происходит резкое смещение рН в кислотную область до рН = 5,4. Затем период резкого закисления сменяется столь же резким смещением рН в слабощелочную область (гл. 9-14 см). рН в верхней части колонки (1-8 см) изменяется незначительно ( $\text{pH} = 7,5 \pm 0,2$ ), в поверхностном слое рН увеличивается до значения 7,8, что значительно выше рН поверхностной воды на этой станции.

**Электропроводность (W).** В 2011-12 гг. наблюдается тенденция к снижению степени минерализации воды в оз. Цимлянское, что может свидетельствовать о снижении антропогенной нагрузки на озеро (рис. 3а). В 2012 г. электропроводность воды на обеих станциях близка —  $410 \pm 2$  и  $401 \pm 3$  мкСм/см (рис. 3б) и существенно превышает содержание растворенных веществ в почве ( $58,6 \pm 3,2$  и  $44,1 \pm 2,1$  мкСм/см) и донных отложениях ( $33,3 \pm 3,9$  и  $69,0 \pm 16,3$  мкСм/см).

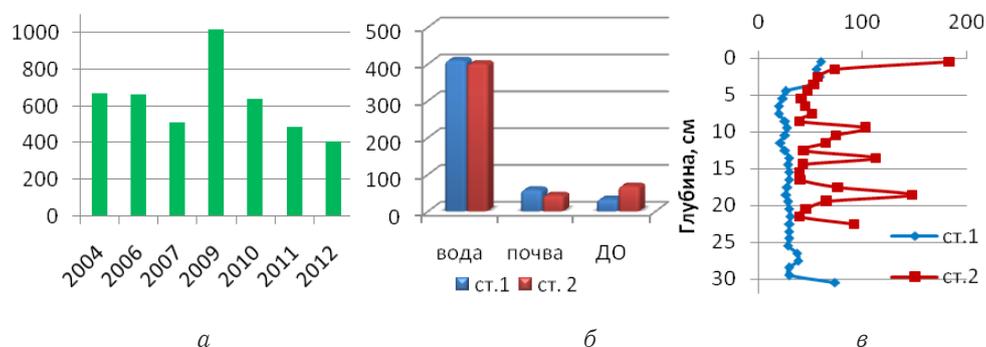


Рис. 3. Значения электропроводности (мкСм/см) в пробах воды в 2004-12 гг. (а), воды, почв и ДО в 2012 г. (б) и распределение электропроводности водной вытяжки по глубине донных отложений (в) в оз. Цимлянское

Изучение распределения данного показателя по глубине колонок на ст. 1 и 2 показало принципиально различный характер изменений (рис. 3в). Для ст. 1 характерны относительно низкие значения W ( $28,3 \pm 1,9$  мкСм/см), которые мало изменяются в основной части колонки и возрастают только в нижнем

(73,9 мкСм/см) и верхних 5 см донных отложений — до 60,5 мкСм/см. На ст. 2 электропроводность существенно меняется от слоя к слою: на кривой имеется 3 явно выраженных максимума (18, 13, 9 см) и отмечается очень резкий рост электропроводности в поверхностном слое — до 184,3 мкСм/см. Обращает внимание обратно пропорциональная зависимость между содержанием растворенных веществ в воде, почве и донных отложениях на станциях. Причем в воде и почве значения  $W$  близки, в колонках различаются в среднем в 2 раза. Вероятно, это связано с различной глубиной озера на станциях, что приводило к понижению уровня воды в засушливые периоды в разной степени. Однако на ст. 1 экстремумов практически не наблюдается, поэтому можно предположить, что резкий рост электропроводности в последнее время связан с антропогенной деятельностью (сброс сточных вод).

Результаты общего гидрохимического анализа проб воды на содержание главных ионов за 2004-2012 гг. и 2012 г. показали, что тип воды принципиально поменялся в последние годы (см. табл.), что согласуется с понижением минерализации воды и может свидетельствовать о снижении антропогенной нагрузки.

Таблица

**Характеристика вод оз. Цимлянское за 2004-2012 гг. по классификации О. А. Алекина [4]**

Год	Характеристика вод		
	класс	группа	тип
2004	хлоридный	кальциевая, натриевая	III
2006	гидрокарбонатный	натриевая	I
2007	хлоридный	натриевая	III
2010	гидрокарбонатный	кальциевая	III
2011	гидрокарбонатный	кальциевая	III
2012	гидрокарбонатный	кальциевая	III

**Потери при прокаливании (ППП)** характеризуют содержание органического вещества в почве. Содержание органического вещества в почвах и донных отложениях существенно различается на обеих станциях, но для ст. 1 характерно более высокое значение ППП в почве (почти в 4 раза), а для ст. 2 — в донных отложениях (и не столь значительно).

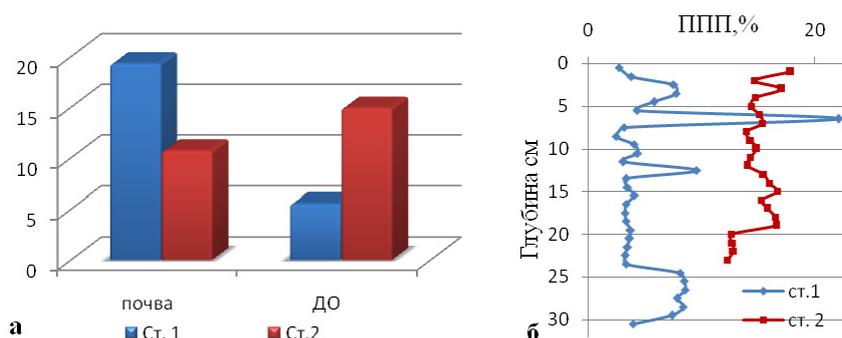


Рис. 4. Содержание органического вещества в пробах почв и ДО (а) и распределение органического вещества по колонкам донных отложений (б) в оз. Цимлянское

Существенные различия имеются и в распределении ППП по глубине донных отложений. Для ст. 1 характерно более низкое значение ППП, но имеются явно выраженные максимумы на глубинах 25-30, 12 (9,6%), 6 (22,1%) и 3-4 см (рис. 5б). В поверхностном слое (0-3 см) наблюдается снижение содержания органического вещества до 2,7%. На ст. 2 содержание органического вещества значительно выше и изменяются не столь значительно. Минимальные значения ( $12,6 \pm 0,4\%$ ) наблюдаются на глубине 19-23 см, в интервале 3-18 см однородный участок распределения органического вещества ( $15,2 \pm 0,5\%$ ), на поверхности наблюдается некоторый рост ППП (17,9%). Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что источником органического вещества в озере являются преимущественно внутриводоемные процессы или антропогенное загрязнение (сброс сточных вод), а не смыв с водосборной площади.

Анализ биогенных элементов (соединений N и P) в воде показал, что в воде оз. Цимлянское из неорганических форм азота преобладают нитраты, высокое содержание которых наблюдалось в 2004, 2006 и 2011 гг. В 2012 г. зафиксировано наибольшее содержание нитрит-иона. Средние содержания биогенных элементов не превышают ПДК.

Для оценки экологического состояния озера было определено содержание тяжелых металлов (Fe, Mn, Cu, Pb, Ni, Zn, Co, Cr и Cd) в воде, в водной и кислотной вытяжке донных отложений и почв. Значительное превышение ПДК характерно для железа и марганца (рис. 5а). Повышенное содержание этих элементов характерно для водоемов данного региона. Содержание данных элементов от года к году существенно изменяется, так же как и соотношение концентраций этих металлов. Аномально высокое содержание железа было обнаружено в 2006 г., а марганца — в 2009-2010 гг. Это может свидетельствовать о влиянии климатических условий (температура, осадки) на содержание данных элементов в воде либо об антропогенном поступлении данных элементов в водный объект.

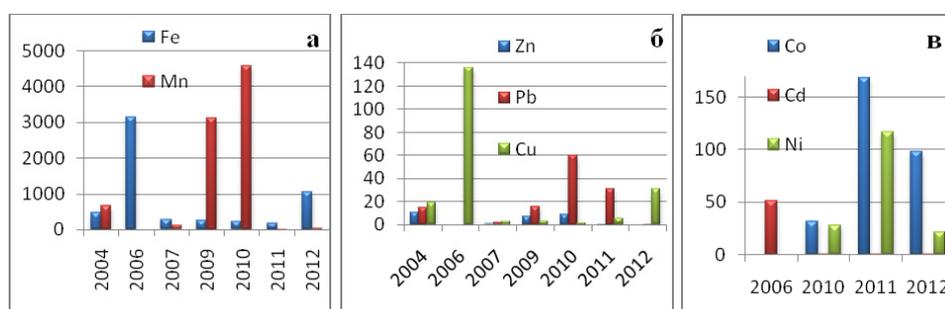


Рис. 5. Динамика изменения содержания (мкг/л) железа и марганца (а) и цинка, свинца, меди (б), кобальта, кадмия и никеля (в)

Содержание цинка в воде оз. Цимлянское незначительно и имеет тенденцию к уменьшению. Наибольшая концентрация металла наблюдалась в 2004, 2009 и 2010 гг. Содержание свинца колеблется в значительном интервале: от очень низких значений (в 2006, 2007, 2012 гг.) до 60 мкг/л (в 2010 г.). Аномально высокое содержание меди было обнаружено в воде озера в 2006 г., также значительное повышение ее содержания наблюдалось в 2012 г. (рис. 5б).

Концентрация Co, Cd, Ni измерялась не регулярно, тем не менее, можно отметить довольно высокие концентрации кобальта (среднее значение 99,4 мкг/л) с максимумом содержания в 2011 г. В этом же году наблюдалась аномально высокая концентрация никеля в воде — более 100 мкг/л при среднем значении 55,2 мкг/л. Высокая концентрация кадмия была отмечена только в 2006 г. (около 50 мкг/л) при среднем содержании — 0,32 мкг/л.

При сопоставлении средних содержаний металлов в исследованных элементах ландшафта оз. Цимлянское можно отметить несколько характерных особенностей (рис. 6). Для всех элементов ландшафта наблюдается абсолютное преобладание Fe и Mn, но если в почвах и донных отложениях содержание марганца составляет 3-4% от содержания железа, то в воде, за счет аномально высоких значений Mn в некоторые годы, среднее значение его концентрации превышает содержание железа (рис. 6а). С учетом того, что среднее содержание Fe в почве составляет 1,6%, а в донных отложениях — около 1%, в донных отложениях большая часть Fe находится в водорастворимой форме, а Mn из донных отложений водой вымывается незначительно (рис. 6в), можно сделать вывод, что аномально высокие концентрации Mn в некоторые годы, скорее всего, связаны с антропогенным воздействием на водный объект.

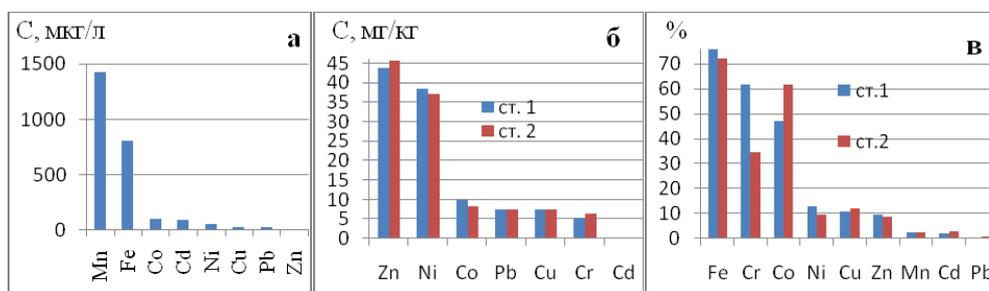


Рис. 6. Среднее содержание металлов в воде в 2004-2012 гг. (а), донных отложениях (б), среднее значение доли водорастворимых форм металлов от их общей концентрации в ДО оз. Цимлянское

Остальные металлы содержатся в воде в значительно меньших количествах, однако обращает внимание довольно высокое содержание Co и Cd. Содержание кобальта в донных отложениях незначительно превышает содержание других металлов (рис. 6б), но при этом большая часть металла содержится в водорастворимой форме (рис. 6в), т. е. в наиболее доступной и опасной с экологических позиций форме. Возможно такая же ситуация наблюдается с хромом (содержание в воде этого довольно токсичного элемента не определялось). Содержание цинка и никеля достаточно велико в донных отложениях (около 45 и 37 мг/кг, соответственно) и в почве (около 15-20 мг/кг), но за счет относительно низкой водной миграции (рис. 6в) данные металлы в воде обнаружены в незначительных количествах. Значительное превышение содержания этих металлов в донных отложениях по сравнению с почвами (более чем в 2 раза) свидетельствует о биогеоном или антропогенном накоплении этих элементов в донных отложениях озера. Другая ситуация наблюдается со свинцом: его концентрация в почве примерно в 2 раза выше, чем в донных отложениях, причем в донных отложениях он находится в малорастворимой форме, а содержание в воде несколько превышает содержание Zn, но значительно выше содержания Ni.

Для характеристики аккумулярующих свойств донных отложений оз. Цимлянское был рассчитан кларк концентрации (Кк) — отношение содержания элемента (в масс. %) в донных отложениях к кларку этого элемента (в масс.%) в земной коре (по А. П. Виноградову). Кларки концентраций были рассчитаны для верхнего слоя ДО (5 см) и почвы. Для воды был рассчитан кларк концентрации относительно содержания элементов в водах зон гипергенеза [20].

Кларки концентрации колеблются от долей единиц (рассеяние), до сотен тысяч (концентрирование). Величины Кк свидетельствуют, что для воды оз. Цимлянское наблюдается превышение концентрации железа, меди и никеля. Концентрирование металлов в ДО и почве не обнаружено. Содержание таких металлов, как марганец и железо в воде, хотя и довольно высоко, но имеет фоновый характер, т. к. для природных вод данного региона характерно повышенное содержание этих металлов. Возможно, это связано с природными особенностями прилегающих к озеру почв, в которых также обнаружены достаточно высокие концентрации данных металлов, заболоченность местности. Также источниками названных металлов могут служить сельскохозяйственные стоки полей, находящихся вблизи озера. Кроме того, концентрация и железа, и марганца в поверхностных водах подвержена сезонным изменениям. Причем кларки концентрирования железа и марганца в поверхностной воде также указывают на природный фон данной местности.

Таким образом, послойный анализ тяжелых металлов в разрезе донных отложений показал увеличение содержания металлов в кислотной вытяжке ДО в поверхностном слое (0-5 см), что говорит об усилении антропогенной нагрузки на озеро, значительном поступлении металлов. Доля легкодоступных форм кадмия, марганца, цинка и свинца значительна, т. е. при изменении условий окружающей среды может произойти вторичное загрязнение водной толщи в результате мобилизации данных элементов. Кларки концентрирования показали наличие фонового накопления железа, марганца, меди и никеля в поверхностной воде, однако в почве и донных отложениях наблюдается рассеяние данных элементов по сравнению с их средним содержанием в земной коре. На основании химико-экологического мониторинга можно сделать заключение, что загрязнение оз. Цимлянское в г. Тюмень нарастает и носит как природный, так и антропогенный характер.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баренбойм Г. Д., Венецианов Е. Б. Экологический мониторинг водных объектов как информационная основа устойчивого водного хозяйства // Вода: химия и экология. 2008. № 1. С. 15-23.
2. Тихонова И. О. Экологический мониторинг водных объектов / И. О. Тихонова, Н. Е. Кручинина, А. В. Десятков. М.: Инфра-М, 2012. 152 с.
3. Моисеенко Т. И. Закисление вод: Факторы, механизмы и экологические последствия. М.: Наука, 2003. 276 с.
4. Ларина Н. С. Техногенные загрязнения природных вод / Н. С. Ларина, В. Г. Катанаева, Н. А. Шелпакова. Тюмень: Мандр-Ика, 2004. 224 с.
5. Моисеенко Т. И., Гашкина Н. А. Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды. М.: Наука, 2010. 268 с.
6. Экологические проблемы промышленных городов: сб. тр.: ч. 1 / под ред. Е. И. Тихомировой. Саратов: СГТУ, 2011. 348 с.

7. Стольберг Ф. В. Экология города. Киев: Либра, 2000. 464 с.
8. Ларина Н. С., Косяков Е., Устименко А. А., Пинигина Е. П. Комплексный мониторинг городских водоемов // Окружающая среда и менеджмент природных ресурсов: Тезисы докладов V Международной конференции, г. Тюмень, 1-3 октября 2014 г. / под ред. А. В. Соромотина, А. В. Толстикова. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2014. С. 149-151.
9. Будников Г. К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 5. С. 17-27.
10. Моисеенко Т. И. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: Технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. М.: Наука, 2006. 261 с.
11. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М.: Мир, 2000. 286 с.
12. Папина Т. С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода — взвешенное вещество — донные отложения речных экосистем. Новосибирск, 2001. 58 с.
13. Лукьянчиков Д. И. Значение донных отложений в загрязнении водных экосистем // Научный журнал Курского гос. ун-та. 2000. № 5. С. 64-66.
14. Манихин В. И., Никаноров А. М. Растворенные и подвижные формы тяжелых металлов в донных отложениях пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 182 с.
15. Ларина Н. С., Шелпакова Н. А., Ларин С. И., Дунаева А. П. Оценка химико-экологического состояния водоемов по результатам анализа вод и донных отложений // Успехи современного естествознания, 2008. Т. 7. С. 56-58.
16. Отмахов В. И. Методика оценки экологической безопасности водного бассейна по загрязнению донных отложений // Известия Томского политехнического университета. 2003. Т. 306. № 6. С. 39-41.
17. Forstner, U. Lake sediments as indicators of heavy-metal pollution / Naturwissenschaften. 1976. № 63. С. 465-470.
18. Nakanson, L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach // Water Research. 1980. № 14. С. 975-1001.
19. Даульвальтер В. А. Оценка токсичности металлов, накопленных в донных отложениях озер // Водные ресурсы. 2000. Т. 27. № 4. С. 469-476.
20. Ларина Н. С., Дунаева А. П., Масленникова С. С., Ларин С. И. Формы накопления и миграции некоторых элементов в донных отложениях озера Пикетное // Вестник КазГУ. Материалы Междунар. науч. конф. по аналит. химии и экологии. Казахстан, Алматы, 6-8 октября 2010. С. 58-59.
21. Комплексное гидрохимическое и биологическое исследование качества вод и состояния водных и околотоводных систем: Методическое руководство. Ч. 1. Полевые исследования / под общ. ред. Т. И. Моисеенко. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2011. 128 с.

## REFERENCES

1. Barenboim, G. D., Venetsianov, E. V. Ecological monitoring of water bodies as an information basis of sustainable water management // Water: Chemistry and Ecology. 2008. № 1. Pp. 15-23.
2. Tikhonova, I. O., Kruchinina, N. E., Desyatkov, A. V. Ecological Monitoring of Water Bodies. Moscow: Nauka, 2012. 152 p.
3. Moiseenko, T. I. Acidification of Waters: Factors, Mechanisms and Environmental Impacts. Moscow: Nauka, 2003. 276 p.
4. Larina, N. S., Katanaeva, V. G., Shelpakova, N. A. Technogenic Pollution of Natural Waters. Tyumen: Mandr-Ika, 2004. 224 p.
5. Moiseenko, T. I., Gashkina, N. A. Formation of Water Chemistry of Lakes in a Changing Environment. Moscow: Nauka, 2010. 268 p.
6. Environmental Problems of Industrial Cities: Collected articles: Part 1 / ed. E. I. Tikhomirova. Saratov: Saratov State Technical University, 2011. 348 p.

7. Stolberg, F. V. Ecology of the City. Kiev: Libra, 2000. 464 p.
8. Larina, N. S., Kosyakov, E., Ustimenko, A. A., Pinigina, E. P. Comprehensive monitoring of urban water bodies // Environment and Management of Natural Resources: Abstracts of the 5th International Conference, Tyumen, October 1-3, 2014. / Ed. A. V. Soromotin, A. V. Tolstikov. Tyumen: Publishing House of the TSU, 2014. Pp. 149-151.
9. Budnikov, G. K. Heavy metals in environmental monitoring of water systems // Soros Educational Journal. 1998. № 5. Pp. 17-27.
10. Moiseenko, T. I. Trace Elements in Surface Waters of Land: Technophilia, Bioaccumulation and Ecotoxicology. Moscow: Nauka, 2006. 261 p.
11. Moore, J., Ramamurthy, S. Heavy Metals in Natural Waters. Moscow: Mir, 2000. 286 p.
12. Papina, T. S. Transport and Distribution Characteristics of Heavy Metals in the Series: Water - Suspended Matter - Sediments of River Ecosystems. Novosibirsk, 2001. 58 p.
13. Lukyanchikov, D. I. The value of sediment contamination in aquatic ecosystems // Scientific Journal of Kursk State University. 2000. № 5. Pp. 64-66.
14. Manihin, V. I., Nikanorov, A. M. Dissolved and mobile forms of heavy metals in sediments of freshwater ecosystems. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 2001. 182 p.
15. Larina, N. S., Shelpakova, N. A., Larin, S. I., Dunaeva, A. P. Evaluation of chemical and ecological status of water bodies on the analysis of water and bottom sediments // Advances in Contemporary Science, 2008. Vol. 7, Pp. 56-58.
16. Otmakhov, V. I. Methods of assessing environmental safety of a water basin by the level of sediment contamination // Bulletin of Tomsk Polytechnic University. 2003. Vol. 306. №6. Pp. 39-41.
17. Forstner, U. Lake sediments as indicators of heavy-metal pollution / Naturwissenschaften. 1976. № 63. Pp. 465-470.
18. Hakanson, L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach // Water Research. 1980. № 14. Pp. 975-1001.
19. Daulvalter, V. A. Evaluation of the toxicity of metals accumulated in the sediments of lakes // Water Resources. 2000. Vol. 27. № 4. Pp. 469-476.
20. Larina, N. S., Dunaeva, A. P., Maslennikova, S. S., Larin, S. I. Forms of accumulation and migration of certain elements in the sediments of Lake Piketnoe // Bulletin of Kazakhstan State University. Proceedings of the International conference on the analytical chemistry and ecology. Kazakhstan, Almaty, October 6-8, 2010. Pp. 58-59.
21. Comprehensive hydrochemical and biological studies of water quality and the state of water and water-related systems: A guide on methods. Part 1. Field studies // Ed. T. I. Moiseenko. Tyumen: Publishing House of the TSU, 2011. 128 p.

#### Авторы публикации

**Наталья Сергеевна Ларина** — доцент, профессор кафедры органической и экологической химии Тюменского государственного университета, кандидат химических наук

**Василий Леонидович Гусельников** — главный специалист Отдела экологического мониторинга и изысканий ООО «ПурЭкоКом»

**Александр Андреевич Устименко** — студент Института химии Тюменского государственного университета

#### Authors of the publication

**Natalia S. Larina** — cand. sci. (chem.), associate professor, Department of Organic and Ecological Chemistry, Tyumen State University

**Vassily L. Guselnikov** — chief specialist, Department of Environmental Monitoring and Research, LLC. "PurEkoCom"

**Alexandre A. Ustimenko** — student, Institute of Chemistry, Tyumen State University