

УДК 543.31:57.044(282.256.3)

## СОДЕРЖАНИЕ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ Р. ЕНИСЕЙ НА УЧАСТКЕ ОТ Г. КРАСНОЯРСКА ДО УСТЬЯ Р. АНГАРА В 2010–2015 ГГ.

Дементьев Дмитрий Владимирович<sup>1</sup>,  
dementyev@gmail.com

Болсуновский Александр Яковлевич<sup>1</sup>,  
radecol@ibp.ru

Борисов Роман Владимирович<sup>1,2</sup>,  
roma\_boris@list.ru

Александрова Юлия Владимировна<sup>1</sup>,  
yuliyana\_aleksandrova@mail.ru

<sup>1</sup> Институт биофизики СО РАН ФИЦ КНЦ СО РАН,  
Россия, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/50.

<sup>2</sup> ИХХТ СО РАН ФИЦ КНЦ СО РАН,  
Россия, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/24.

**Актуальность** работы обусловлена необходимостью получения достоверной информации о концентрациях химических элементов в воде р. Енисей в условиях непрерывной антропогенной нагрузки.

**Цель работы:** оценка уровня содержания концентраций химических элементов природного и техногенного происхождения Na, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Ba, Al, Mn, U, Mo, Cr, Ni, As, Co, Sr, Fe, Pb, Cd, Bi в воде р. Енисей на участке от г. Красноярска до устья р. Ангара.

**Методы исследования.** Валовое содержание элементов определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Agilent 7500a.

**Результаты.** Выполнена оценка уровня содержания 20 химических элементов в водах р. Енисей на участке от г. Красноярска до устья р. Ангары (п. Стрелка) за период с 2010 по 2015 годы. В результате сравнения полученных данных с уровнями предельно-допустимых концентраций выявлено, что для исследуемого участка р. Енисей характерны повышенные содержания Fe, Cu, Mn, Al, Zn. За весь период наблюдения средние концентрации составляют 1...2 значений предельно-допустимой концентрации для вод рыбохозяйственного назначения (ПДК<sub>рх</sub>) для Fe и 1...5 значений ПДК<sub>рх</sub> для Cu. Для средних значений Mn ниже по течению от Красноярска на 90 км (вблизи с. Атаманово и п. Стрелка) характерны величины в 1...3 ПДК<sub>рх</sub>. Установлена некоторая тенденция к повышению концентраций Cu, Fe, Zn в воде ниже по течению от Красноярска, которая, вероятно, связана с расположением в этом районе промышленного комплекса г. Железногорска и с впадением в реку Енисей реки Кан, с расположенными на ней крупными промышленными предприятиями, прежде всего в г. Зеленогорске.

### Ключевые слова:

Вода, тяжёлые металлы, микроэлементы, мониторинг, река Енисей, качество поверхностных вод.

### Введение

Вода является одним из наиболее распространённых ресурсов в мире, но менее 1 % вод доступно и безопасно для потребления человеком. Загрязнение поверхностных вод вследствие антропогенной деятельности является большой экологической проблемой, с которой сталкиваются по всему миру. Среди загрязняющих веществ значительное влияние на качество природных вод оказывают тяжёлые металлы, которые в растворённой или взвешенной форме способны мигрировать в водных средах на значительные расстояния. Большое внимание исследователей из разных стран [1–9] уделяется изучению содержания и распределения химических элементов в природных водах и гидробионтах. В России Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды проводится регулярный мониторинг качества поверхностных вод по ряду показателей [10]. Наряду с этим учёные в регионах проводят исследования по определению содержания химических веществ

в водных объектах вблизи агломераций и крупных промышленных предприятий, определяют возможные причины загрязнения вод и исследуют пути миграции элементов [11–13].

Река Енисей – одна из крупнейших рек мира, является природной границей между Западной и Восточной Сибирью. Обширные пространства бассейна (общая площадь – 2,58 млн км<sup>2</sup>) характеризуются весьма сложным рельефом, от горного до равнинного. Енисей – самая многоводная река России снегового питания; наиболее многоводные месяцы май–июль, а летние минимумы расхода воды приходятся на сентябрь–октябрь [10]. Неудивительно, что ряд работ посвящён изучению загрязнений р. Енисей и ее притоков. Разными авторами [14–21] определены концентрации металлов, фенолов, нефтепродуктов, пестицидов, нитритов, ионов аммония, фосфатов и органических веществ в воде и основных компонентах экосистемы р. Енисей на участке от г. Красноярска до г. Игарки, включая самый крупный приток – р. Ангару, и в

некоторых случаях отмечены превышения установленных нормативов. В нашей предыдущей работе [22] было исследовано содержание тяжёлых металлов в донных отложениях р. Енисей вблизи г. Красноярск и выявлены повышенные содержания Cd и Ni, присутствие которых может быть обусловлено загрязнением воды. Таким образом, получение новых независимых данных относительно качества воды р. Енисей представляется весьма актуальной задачей.

Цель настоящей работы – определение концентраций химических элементов природного и техногенного происхождения Na, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Ba, Al, Mn, U, Mo, Cr, Ni, As, Co, Sr, Fe, Pb, Cd, Bi в воде р. Енисей на участке от г. Красноярск до устья р. Ангара в период 2010–2015 гг.

#### Объекты и методы

Пробы воды отбирали (в соответствии с Р.52.24.353–2012, ГОСТ Р 51592–2000) в 2010–2015 гг. с марта по декабрь на участках р. Енисей, показанных на схеме (рис. 1). Все точки отбора были разделены на 5 участков: У1) вне зоны влияния промышленных предприятий, выше по течению г. Красноярск; У2) в зоне влияния промышленных стоков – в черте Красноярск; У3) ниже по течению от Красноярск до п. Есаулово; У4) вблизи населённых пунктов с. Атаманово и п. Б. Балчуг в зоне влияния промышленного комплекса г. Железногорск (Горно-химический комбинат ГК Росатом и др.); У5) вблизи населённых пунктов п. Каргино и п. Стрелка, удалённых на 230–250 км от промышленного комплекса г. Железногорск и после впадения р. Кан, с расположенными на реке крупными промышленными предприятиями, прежде всего в г. Зеленогорске. Расстояние между крайними точками отбора составило около 350 км.

Отбор проб осуществляли с лодки батометром-бутылкой на штанге из поверхностного слоя (30–50 см) на фарватере реки и в прибрежной зоне правого берега (кроме участка У1, где пробы отбирались в прибрежной зоне левого берега). Общее количество составило порядка 300 проб. Пробы сливались в полимерные канистры, предварительно промытые дистиллированной водой и водой в точке отбора. Пробы воды консервировали азотной кислотой (ОС.Ч. 27–4), фильтровали через фильтр «синяя лента» в одноразовые пробирки объёмом 20 мл в двух параллелях и хранили до измерения при температуре +4 °С. Содержание растворённых форм химических элементов определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Agilent 7500a. Данный метод хорошо зарекомендовал себя при проведении различных гидрохимических исследований с определением содержания элементов вплоть до фоновых уровней [23, 24]. Для калибровки прибора использовали стандартные растворы, содержащие 10 мкг/л  $^7\text{Li}$ ,  $^{89}\text{Y}$ ,  $^{140}\text{Cs}$  и  $^{205}\text{Tl}$ , и внутренние стандарты. Статистическую обработку проводили с использованием

программы Excel пакета Microsoft Office. Для исследуемых элементов на каждом участке были рассчитаны средние значения по всем точкам для каждого года отбора и стандартные отклонения. Уровень загрязнённости воды по содержанию элементов определяли сравнением полученных концентраций растворённых форм с законодательно регламентированными предельно допустимыми концентрациями для вод хозяйственно-питьевого (ПДКв) [25] и рыбохозяйственного (ПДКрх) [26] назначения. В работе использовали средние значения по участкам за годовой период. В случаях большого разброса значений приведены результаты анализа по отдельным (единичным) точкам отбора. При обсуждении результатов элементы сгруппированы в блоки по значениям их концентраций для наглядности графического материала.

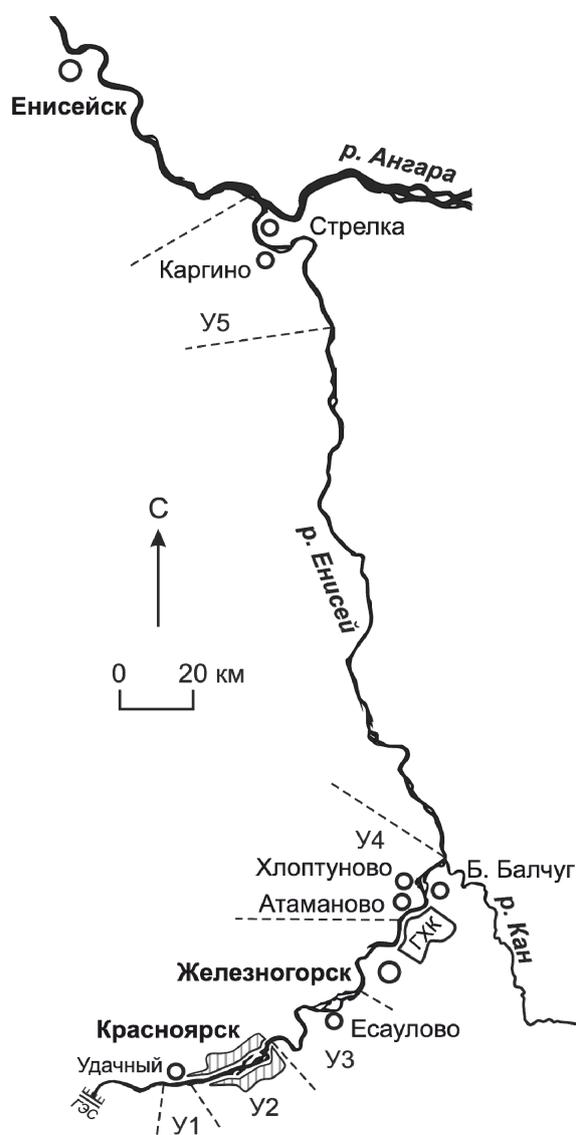


Рис. 1. Карта-схема района отбора проб воды (У1–У5 – участки отбора проб)

Fig. 1. Schematic map of the water sampling region (У1–У5 are the sampling areas)

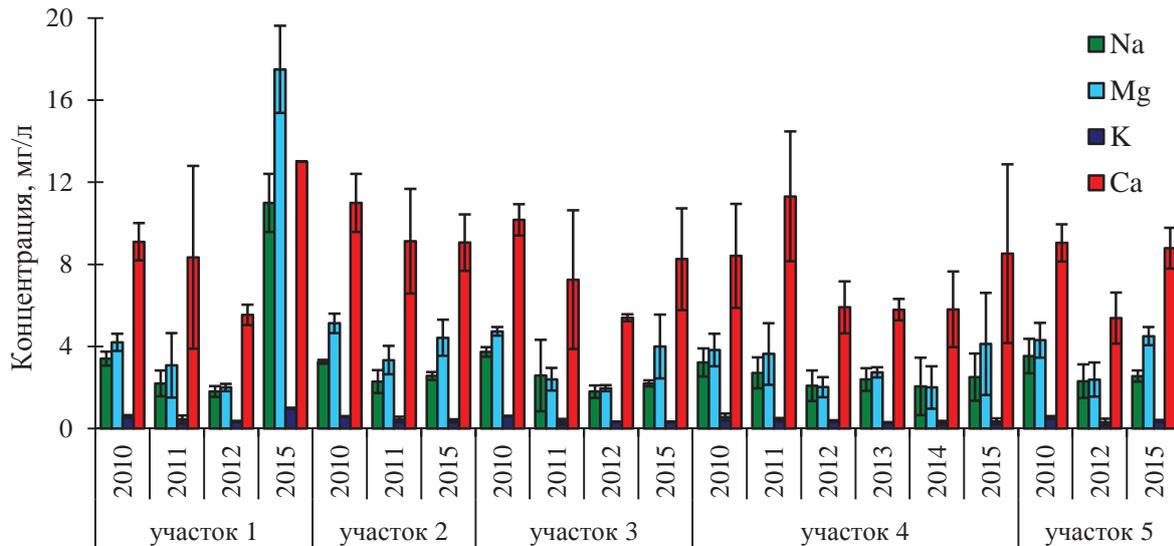


Рис. 2. Средние значения концентраций (мг/л) Na, Mg, K, Ca в пробах воды р. Енисей

Fig. 2. Average concentrations (mg/L) of Na, Mg, K, Ca in samples of the Yenisei River water

### Результаты исследования и их обсуждение

**Концентрация Na, Mg, K, Ca в воде р. Енисей.** На рис. 2. представлены данные по среднему содержанию макрокомпонентов Na, Mg, K, Ca в 2010–2015 гг. в воде р. Енисей. Концентрации данных металлов намного ниже значений ПДК<sub>в</sub> и ПДК<sub>рх</sub> и не отличаются от данных, полученных в предыдущие периоды [16]. Для отдельных точек отбора содержание варьируется в широких пределах (мг/л): Na 1,3...7,8; Mg 1,4...19; K 0,05...1,0; Ca 3,0...27,0.

**Концентрация Sr и Fe в воде р. Енисей.** Средние концентрации Sr в воде на 3 порядка ниже, чем в донных отложениях [22], и не превышают ПДК<sub>в</sub> (7 мг/л) и ПДК<sub>рх</sub> (0,4 мг/л). Однако в октябре 2015 из 10 точек отбора на участке У4 в двух точках (р. Енисей, п. Хлоптуново) наблюдались значения (0,61, 0,73 мг/л), превышающие ПДК<sub>рх</sub>. По временной динамике можно выделить более

высокие содержания в 2015 г. на всех участках относительно прошлых лет.

Загрязнение природных вод ионами железа возможно как в результате антропогенной деятельности, так и естественным путём при механическом разрушении и растворении горных пород. Содержание Fe в поверхностных водах суши составляет десятые доли миллиграмма [27]. Средние концентрации Fe в воде р. Енисей в большинстве случаев превышают ПДК<sub>рх</sub> (0,1 мг/л), но не превышают ПДК<sub>в</sub> (0,3 мг/л) за весь период наблюдения. При этом в отдельных точках отбора концентрации превосходят регламентированные значения. Так, на участке У4 в июле 2011 г. в 7 точках значения Fe составляют 0,35...0,42 мг/л, в июне 2013 – 0,58 мг/л. Максимальное значение 0,88 мг/л обнаружено на участке У5 в октябре 2015 г. В работах [10, 16, 20] также было показано повышенное содержание Fe в воде р. Енисей ниже

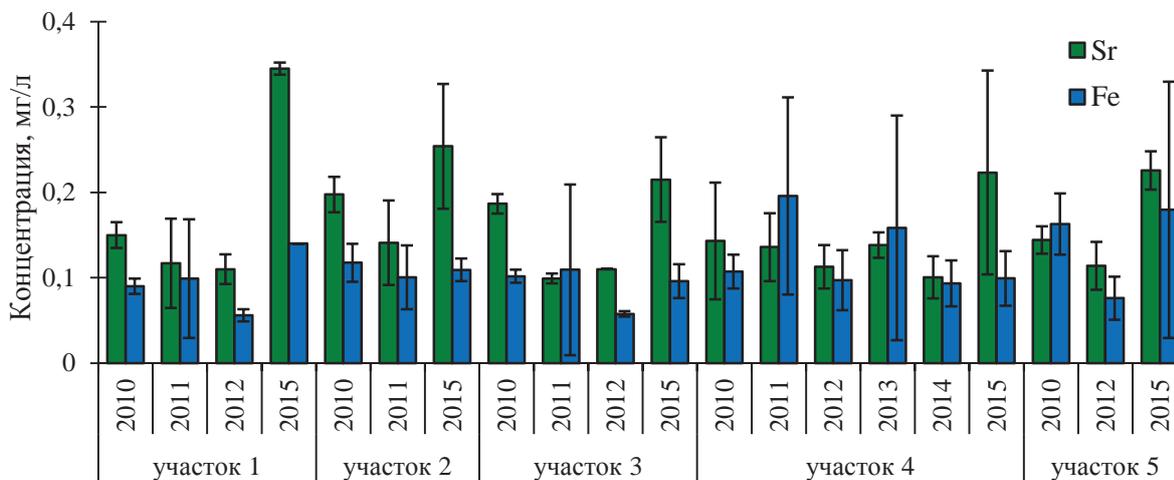


Рис. 3. Средние значения концентраций (мг/л) Sr и Fe в пробах воды р. Енисей

Fig. 3. Average concentrations (mg/L) of Sr and Fe in samples of the Yenisei River water

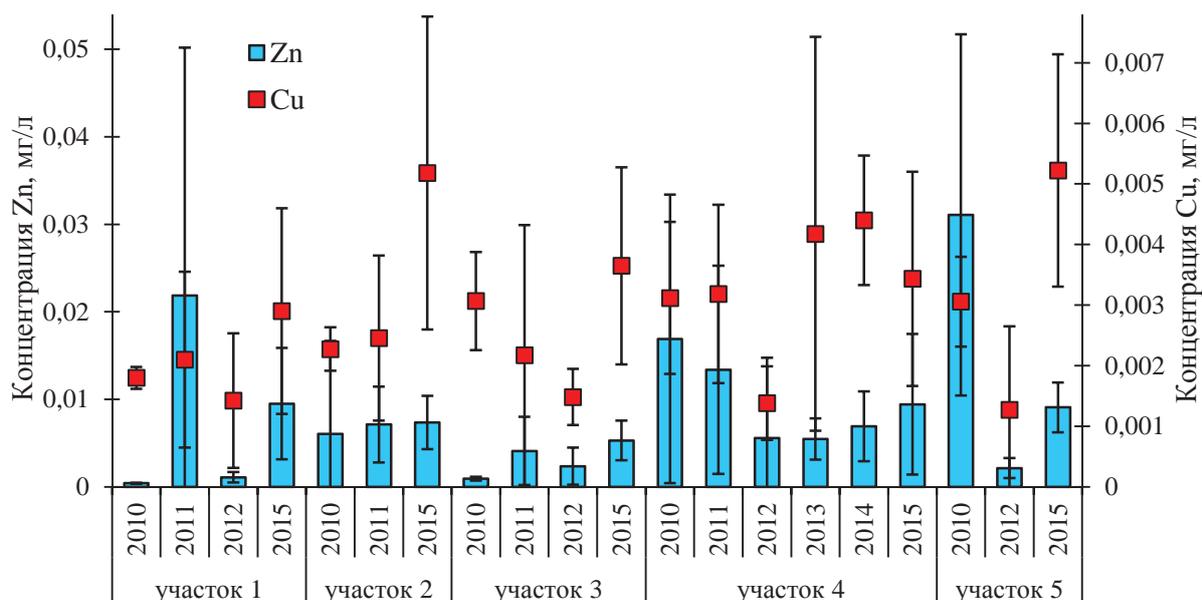


Рис. 4. Средние значения концентраций (мг/л) Zn и Cu в пробах воды р. Енисей

Fig. 4. Average concentrations (mg/L) of Zn and Cu in samples of the Yenisei River water

г. Красноярска. Например, содержание железа в фарватере р. Енисей в районе г. Игарки (нижнее течение) в 2011–2012 гг. составило 0,4 мг/л [20].

**Концентрация Cu и Zn в воде р. Енисей.** Содержание меди в природных пресных водах колеблется от 0,002 до 0,03 мг/л, а цинка – от 0,003 до 0,12 мг/л [27]. Основным источником поступления меди и цинка в природные воды являются сточные воды предприятий химической и металлургической промышленности. Для цинка также характерны пути попадания в воду при процессах разрушения и растворения горных пород и минералов. ПДКв для Zn составляет 1 мг/л; ПДКрх – 0,01 мг/л, а для Cu – 1 и 0,001 мг/л соответствен-

но. Установлено, что средние значения содержания Cu во всех случаях превышают ПДКрх, а для Zn в определённые периоды (рис. 4). По точкам отбора концентрации сильно изменяются: 0,00045...0,014 мг/л для Cu, 0,0004...0,071 мг/л для Zn.

**Концентрация Ba, Al и Mn в воде р. Енисей.** В 2015 г. можно отметить более высокие содержания Ba, чем в предыдущие годы. Однако во всех точках значения не превышают нормативов, изменяясь от 0,02 до 0,12 мг/л. В работе [10] показано, что для р. Енисей характерны повышенные содержания Al и Mn. Действительно, среднее содержание Al в 2015 г. на всех участках и в 2011, 2014 гг.

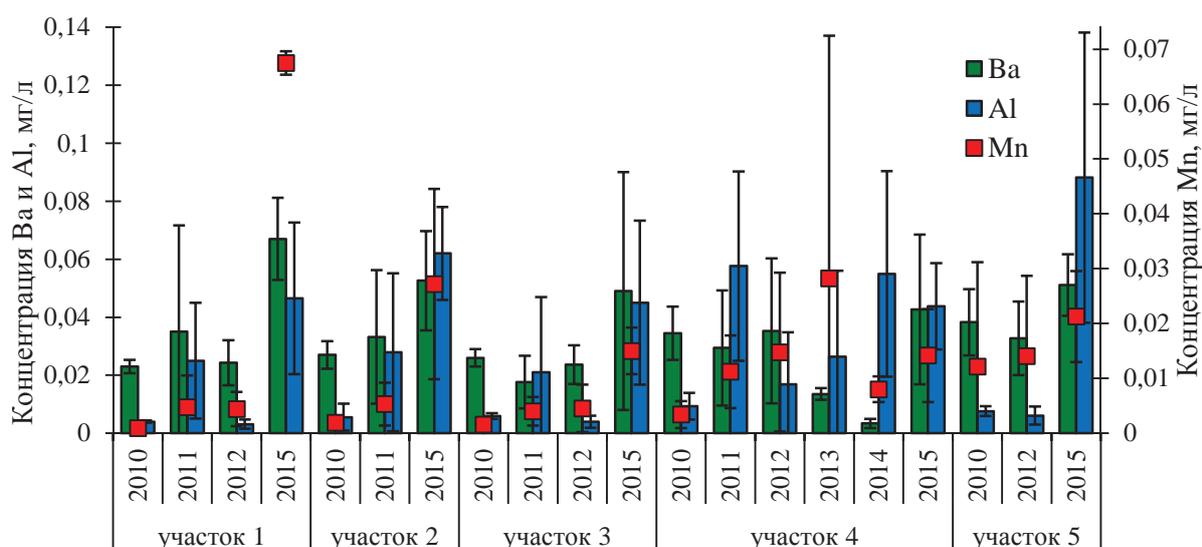


Рис. 5. Средние значения концентраций (мг/л) Ba, Al и Mn в пробах воды р. Енисей

Fig. 5. Average concentrations (mg/L) of Ba, Al and Mn in samples of the Yenisei River water

на участке У4 составляют 0,04...0,07 мг/л и превышают ПДК<sub>рх</sub> (0,04 мг/л). По отдельным точкам отбора концентрации Al сильно изменяются (0,001...0,16 мг/л), что видно из значений стандартных отклонений (рис. 5). Например, в 2011 г. в ряде точек отбора на участке У4 обнаружены концентрации Al в воде 0,10...0,12 мг/л, что превышает ПДК<sub>рх</sub> (0,04 мг/л) в 3 раза. Концентрации Mn по точкам отбора варьируются от 0,00026 до 0,18 мг/л, превышая ПДК<sub>в</sub> (0,1 мг/л) в 2 раза. В некоторых случаях превышение ПДК<sub>рх</sub> (0,01 мг/л) характерно и для средних значений.

**Концентрация Cr, Ni и As в воде р. Енисей.** Средние значения Cr, Ni и As (рис. 6) не превышают значение ПДК<sub>рх</sub> (0,02, 0,01, 0,05 мг/л) и ПДК<sub>в</sub> (0,05, 0,02, 0,01 мг/л) соответственно. По отдельным точкам отбора концентрации варьируются в следующих пределах: 0,0002...0,0099 мг/л для Cr;

0,0008...0,01 мг/л для Ni; 0,0002...0,004 для As, согласуясь с данными, полученными другими исследователями [10, 16, 17].

**Концентрация Mo, Co и U в воде р. Енисей.** Средние значения Co и Mo (рис. 7) не превышают нормативов ПДК<sub>рх</sub> (0,01, 0,01 мг/л) и ПДК<sub>в</sub> (0,1, 0,07 мг/л) соответственно. По точкам отбора значения изменялись в широких пределах: для Co 0,00002...0,0011 мг/л, а для Mo 0,0001...0,006 мг/л. Следует отметить более высокие содержания Mo в воде на всех участках в 2010 и 2015 гг.

Ранее в работе [21] было показано загрязнение р. Енисей и его притоков – р. Кан и р. Большая Тель – изотопами урана вблизи крупных промышленных предприятий Красноярского края. В настоящей работе установлено, что средние значения U (рис. 7) не превышают ПДК<sub>в</sub> (0,015 мг/л). По точкам отбора изменение концентрации составило 0,00008...0,0015 мг/л. Полученные значения

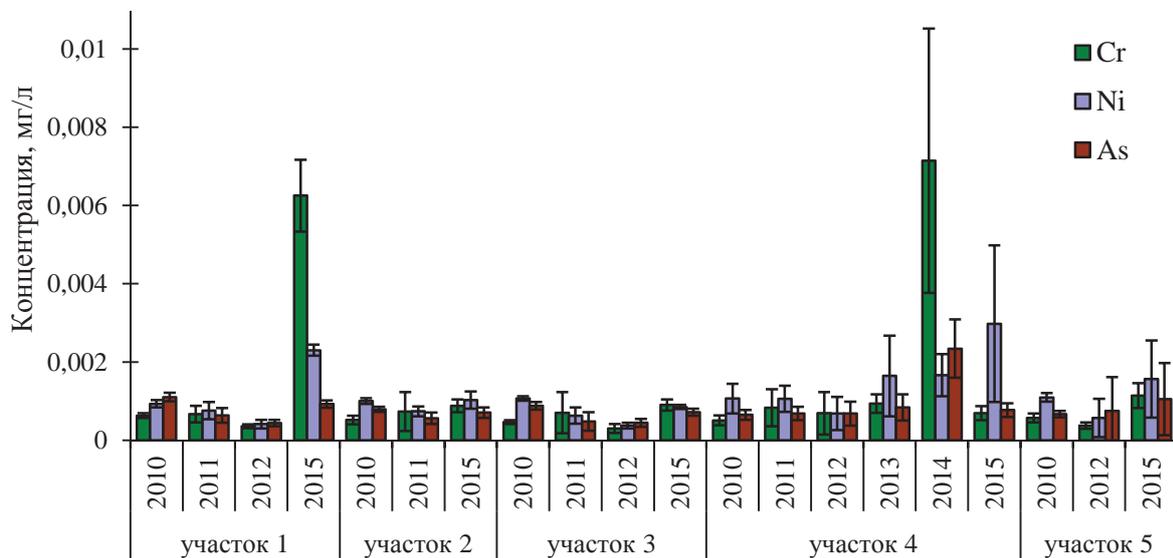


Рис. 6. Средние значения концентраций (мг/л) Cr, Ni и As в пробах воды р. Енисей

Fig. 6. Average concentrations (mg/L) of Cr, Ni and As in samples of the Yenisei River water

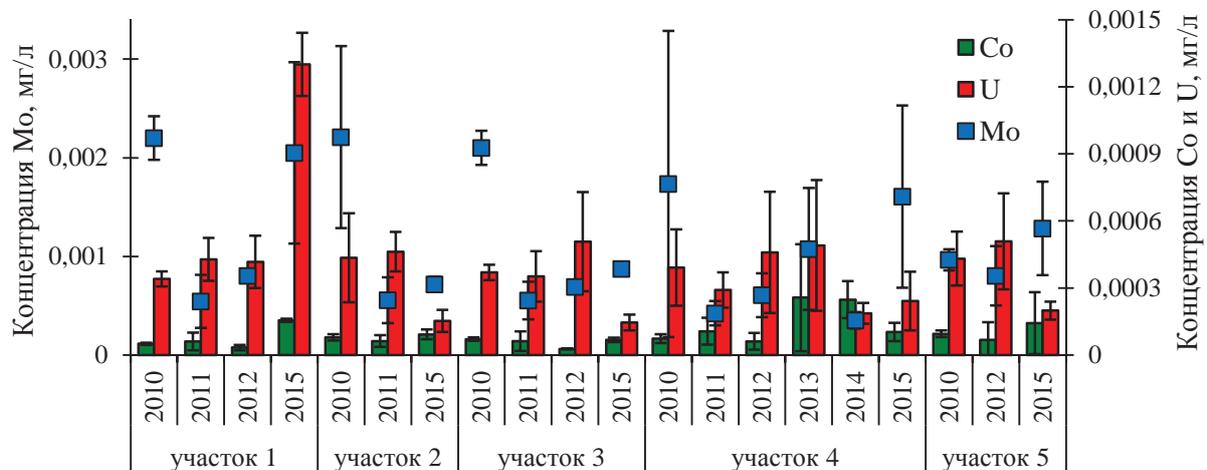


Рис. 7. Средние значения концентраций (мг/л) Mo, Co и U в пробах воды р. Енисей

Fig. 7. Average concentrations (mg/L) of Mo, Co and U in samples of the Yenisei River water

находятся в тех же диапазонах, что и значения, приведённые в [21] для р. Енисей, в 2007–2008 гг. На всех участках, за исключением участка У1 (п. Удачный), можно отметить тенденцию к снижению концентрации урана в воде р. Енисей в 2015 г., относительно предыдущих периодов.

*Концентрация Pb, Cd и Bi в воде р. Енисей.* Для речных вод характерны содержания свинца от десятых долей до единиц микрограммов в литре. Повышенные над фоновыми значениями концентрации свинца в природных водах обусловлены антропогенной нагрузкой. Значительный вклад в загрязнение объектов окружающей среды соединениями свинца, наряду с деятельностью химических и металлургических производств, оказывает сжигание углей и применение соединений свинца в моторных топливах [27]. Несмотря на то, что средние значения содержания Pb в воде р. Енисей не превышают нормативов (ПДК<sub>в</sub>=0,01, ПДК<sub>рх</sub>=0,006 мг/л), для некоторых отдельных точек отбора на участке У4 в 2010 и 2013 гг. обнаружены превышения (0,008; 0,010; 0,016; 0,021; 0,036 мг/л). В целом концентрации Pb в отдельных точках отбора изменяются в пределах 0...0,036 мг/л.

Различные соединения кадмия могут поступать в поверхностные воды со сточными водами свинцово-цинковых заводов, химических предприятий. Однако за счёт процессов сорбции концентрация растворённых соединений кадмия в воде понижается. Активно происходят процессы накопления кадмия водными организмами. Согласно [27] для речных незагрязнённых и слабозагрязнённых вод концентрации кадмия не превышают нанограммовых количеств. Обнаружено, что для воды р. Енисей концентрации Cd в большинстве точек отбора (преимущественно на участках У1–У3) были ниже предела обнаружения. Статистически достоверны более высокие значения кадмия на участках У4 и У5 (0,0001...0,0007 мг/л), которые в свою очередь не превышают нормативов [25, 26]. Содержание Bi по точкам отбора составило 0...0,0001 мг/л, что на 3 порядка ниже ПДК<sub>в</sub>.

В период 2008–2012 гг. разными авторами проводились исследования качества воды на разных участках р. Енисей и её притоках. Так, в работе [16] было показано, что концентрации металлов и веществ в воде р. Енисей выше и ниже г. Красноярска в 2008–2009 гг. не превышают российских и зарубежных нормативов, за исключением Al и нефтепродуктов. В работе [17] представлены данные о содержании тяжёлых металлов (свинца, кадмия, ртути, цинка, меди) в воде р. Енисей и его правобережного притока р. Кан за 2008–2011 гг. В работах [15, 18] разными авторами проведено комплексное исследование эколого-геохимического состояния воды р. Ангара (правый приток р. Енисей) и её правобережного бассейна по содержанию тяжёлых металлов, углеводов, фенолов, пестицидов. Отмечено превышение установленных нормативов в воде р. Ангара по содержанию

железа, марганца, меди, цинка, нитритов, ионов аммония, фосфатов и органических веществ, фенолов, пестицидов, углеводов и показаны возможные причины их поступления в воду [18]. В работе [20] авторами в 2011–2012 гг. проведён мониторинг в нижнем течении р. Енисей. Обнаружены значительные превышения содержания токсичных органических соединений и тяжёлых металлов в водных объектах вблизи г. Игарки и оценена вероятность выноса загрязнений в акваторию р. Енисей [20].

#### Заключение

Таким образом, в результате проведённой работы установлены уровни концентраций 20 химических элементов в воде р. Енисей на участке от г. Красноярска до устья р. Ангара (п. Стрелка) за период с 2010 по 2015 гг. Показаны изменения средних значений концентраций элементов за 6-летний период (2010–2015) для пяти участков отбора. Полученные в настоящей работе данные отражают многолетние тенденции по загрязнению воды р. Енисей элементами Fe, Cu, Mn, Al, Zn и согласуются с ранее наблюдаемыми результатами других исследований по определению качества вод на различных географических участках (от истока до устья) р. Енисей и его притоков. Показано, что на исследуемом участке р. Енисей наиболее остро стоит проблема загрязнения воды Fe и Cu – за весь период наблюдения средние концентрации составляют 1...2 значений ПДК<sub>рх</sub> для Fe (0,1 мг/л) и 1...5 значений ПДК<sub>рх</sub> для Cu (0,001 мг/л). Для средних значений Mn характерны величины в 1...3 ПДК<sub>рх</sub> (0,01 мг/л) для участков, удалённых более чем на 90 км ниже по течению от Красноярска (вблизи с. Атаманово и п. Стрелка). В 2015 г. средние концентрации Al составили 1...2 ПДК<sub>рх</sub> (0,04 мг/л) на всех участках наблюдения; вблизи с. Атаманово такой же порядок значений обнаружен в 2011 и 2014 гг. Для Zn зарегистрированы средние значения 1...3 ПДК<sub>рх</sub> (0,01 мг/л) в 2010–2011 гг. выше Красноярска (Удачный), вблизи с. Атаманово и п. Стрелка. Для отдельных точек отбора на участке вблизи с. Атаманово в 2010 и 2013 гг. обнаружены значения концентрации Pb 1...6 ПДК<sub>рх</sub> (0,006 мг/л). Прослеживается некоторая тенденция к увеличению концентрации Cu, Fe, Zn в воде ниже по течению от Красноярска на 90 км, которая, вероятно, связана с расположением в этом районе промышленного комплекса г. Железногорска и с впадением в реку Енисей реки Кан, с расположенными на ней промышленными предприятиями, прежде всего в г. Зеленогорске. Однако для достоверного установления причин повышенного содержания указанных выше элементов в воде необходимо провести комплексное исследование качества вод притоков р. Енисей и проанализировать специфику сбросов сточных вод промышленных предприятий в бассейне р. Енисей в исследуемом районе и выше по течению от г. Красноярска.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France) / S. Audry, J. Schäfer, G. Blanc, J. M. Jouanneau // *Environmental Pollution*. – 2004. – № 132 (3). – P. 413–426.
2. Kumar R.N., Solanki R., Kumar J.I.N. Seasonal variation in heavy metal contamination in water and sediments of river Sabarmati and Kharicut canal at Ahmedabad, Gujarat // *Environmental monitoring and assessment*. – 2013. – № 185 (1). – P. 359–368.
3. Effect of pH and salinity on flocculation process of heavy metals during mixing of Aras River water with Caspian Sea water / A.R. Karbassi, M. Heidari, A.R. Vaezi, A.V. Samani, M. Fakhraee, F. Heidari // *Environmental earth sciences*. – 2014. – № 72 (2). – P. 457–465.
4. Assessment of heavy metals/metalloid (As, Pb, Cd, Ni, Zn, Cr, Cu, Mn) concentrations in edible fish species tissue in the Pearl River Delta (PRD), China / H.M. Leung, A.O.W. Leung, H.S. Wang, K.K. Ma, Y. Liang, K.C. Ho, K.K.L. Yung // *Marine pollution bulletin*. – 2014. – № 78 (1). – P. 235–245.
5. Nazeer S., Hashmi M.Z., Malik R.N. Heavy metals distribution, risk assessment and water quality characterization by water quality index of the River Soan, Pakistan // *Ecological Indicators*. – 2014. – № 43. – P. 262–270.
6. Mohamed E.H.A., Osman A.R. Heavy metals concentration in water, muscles and gills of *Oreochromis niloticus* collected from the sewage-treated water and the White Nile // *International Journal of Aquaculture*. – 2014. – № 4. – P. 36–42.
7. Heavy metal pollution in surface water and sediment: a preliminary assessment of an urban river in a developing country / M.S. Islam, M.K. Ahmed, M. Raknuzzaman, M. Habibullah-Al-Mamun, M.K. Islam // *Ecological Indicators*. – 2015. – № 48. – P. 282–291.
8. Assessment of heavy metal pollution in Red River surface sediments, Vietnam / T.T.H. Nguyen, W. Zhang, Z. Li, J. Li, C. Ge, J. Liu, L. Yu // *Marine Pollution Bulletin*. – 2016. – № 113 (2). – P. 513–519.
9. Abraham M.R., Susan T.B. Water contamination with heavy metals and trace elements from Kilembe copper mine and tailing sites in Western Uganda; implications for domestic water quality // *Chemosphere*. – 2017. – № 169. – P. 281–287.
10. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник за 2013, 2014, 2015 годы с приложениями / под ред. член-корр. РАН А.М. Никанорова. – Ростов-на-Дону: ФГБУ «Гидрохимический Институт», 2014, 2015, 2016 гг. URL: <http://gidrohim.com/node/55> (дата обращения: 27.12.2016).
11. Kondrat'eva L.M., Andreeva D.V., Golubeva E.M. Influence of large tributaries on biogeochemical processes in the Amur river // *Geography and Natural Resources*. – 2013. – № 34 (2). – P. 129–136.
12. Курманова Л.Г., Кулагин А.Ю. Динамика содержания и распределения химических элементов в водах рек Башкирского Зауралья // *Вестник Удмуртского университета*. – 2012. – № 6–1. – С. 3–8.
13. Савичев О.Г. Региональные особенности химического состава речных вод Сибири и их учёт при нормировании сбросов сточных вод // *Вода: химия и экология*. – 2014. – № 1. – С. 41–46.
14. Savichev O.G., Matveenko I.A. Evaluation of chemical composition changes of surface water in Boguchan Reservoir (Siberia, Russia) // *Hydrological Sciences Journal*. – 2013. – № 58 (2). – P. 1–10.
15. Karnaukhova G.A. Water quality and protection: environmental aspects hydrochemistry of the Angara and Reservoirs of the Angara Cascade // *Water Resources*. – 2008. – № 35 (1). – P. 71–79.
16. Оценка антропогенного загрязнения р. Енисей по содержанию металлов в основных компонентах экосистемы на участках, расположенных выше и ниже г. Красноярска / О.В. Анищенко, М.И. Гладышев, Е.С. Кравчук, Г.С. Калачёва, И.В. Грибовская // *Журнал Сибирского Федерального Университета. Биология*. – 2010. – Т. 3. – № 1. – С. 82–98.
17. Колесников В.А., Бойченко Н.Б. Годовая и сезонная динамика содержания тяжёлых металлов в воде рек Енисей, Чулым, Кан Красноярского края // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. – 2014. – № 5. – С. 142–147.
18. Савичев О.Г., Копылова Ю.Г., Хвощевская А.А. Эколого-геохимическое состояние реки Ангара и её притоков на участке от г. Усть-Илимска до с. Богучаны (Восточная Сибирь) // *Известия Томского политехнического университета*. – 2011. – Т. 318. – № 1. – С. 150–154.
19. Savichev O.G., Kolesnichenko L.G., Saifulina E.V. The ecogeochemical state of water bodies in the Taz-Yenisei interfluvium // *Geography and Nature Resources*. – 2011. – № 32 (4). – P. 333–336.
20. Химико-экологическое состояние района г. Игарка Красноярского края. / Л.Г. Бондарева, А.С. Жук, В.В. Сурякова, А.И. Рубайло, Н.И. Танаев, И.Г. Танаев // *Журнал Сибирского Федерального Университета. Химия*. – 2013. – Т. 6. – № 3. – С. 313–320.
21. First data on the uranium content in water of the Yenisei River basin in the area affected by the operation of Rosatom plants / A.Y. Bolsunovskii, A.G. Degermendzhi, A.M. Zhizhaev, A.I. Rubailo, A.I. Saprykin // *Doklady Earth Sciences*. – 2011. – № 439 (1). – P. 1010–1015.
22. Содержание тяжёлых металлов в донных отложениях реки Енисей в районе Красноярска / Д.В. Дементьев, А.Я. Болсуновский, Р.В. Борисов, Е.А. Трофимова // *Известия Томского политехнического университета*. – 2015. – Т. 326. – № 5. – С. 91–98.
23. Использование метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в элементном анализе объектов окружающей среды / В.К. Карандашев, А.Н. Туранов, Т.А. Орлова, А.Е. Лежнев, С.В. Носенко, Н.И. Золотарева, И.Р. Москвина // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. – 2007. – Т. 73. – № 1. – С. 12–22.
24. Heavy metals and trace elements in muscle of silverside (*Odonesthes bonariensis*) and water from different environments (Argentina): aquatic pollution and consumption effect approach / E. Avigliano, N.F. Schenone, A.V. Volpedo, W. Goessler, A.F. Cirelli // *Science of the Total Environment*. – 2015. – № 506. – P. 102–108.
25. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – М.: ВНИРО, 1999. – 304 с.
26. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Гигиенические нормативы ГН 2.1.5.1315–03. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_43149/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_43149/) (дата обращения: 27.12.2016).
27. Никаноров А.М. Справочник по гидрохимии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 390 с.

Поступила 20.02.2017 г.

#### **Информация об авторах**

**Дементьев Д.В.**, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории радиоэкологии Института биофизики СО РАН ФИЦ КНЦ СО РАН.

**Болсуновский А.Я.**, доктор биологических наук, заведующий лабораторией радиоэкологии Института биофизики СО РАН ФИЦ КНЦ СО РАН.

**Борисов Р.В.**, кандидат химических наук, ведущий инженер лаборатории радиоэкологии Института биофизики СО РАН ФИЦ КНЦ СО РАН.; научный сотрудник ИХХТ СО РАН ФИЦ КНЦ СО РАН.

**Александрова Ю.В.**, ведущий инженер лаборатории радиоэкологии Института биофизики СО РАН ФИЦ КНЦ СО РАН.

UDC 543.31:57.044(282.256.3)

## CONCENTRATIONS OF METALS IN WATER OF THE YENISEI RIVER BETWEEN KRASNOYARSK AND THE ANGARA RIVER OUTFALL IN 2010–2015

Dmitry V. Dementyev<sup>1</sup>,

dementyev@gmail.com

Alexander Ya. Bolsunovskiy<sup>1</sup>,

radecol@ibp.ru

Roman V. Borisov<sup>1,2</sup>,

roma\_boris@list.ru

Yuliyana V. Alexandrova<sup>1</sup>,

yuliyana\_aleksandrova@mail.ru

<sup>1</sup> Institute of Biophysics Siberian Branch Russian Academy of Sciences FRC KSC SB RAS, 50/50 Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia.

<sup>2</sup> ICCT SB RAS FRC KSC SB RAS, 50/24 Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia.

**The relevance of the study** is determined by the necessity to obtain the data on concentrations of chemical elements in water of the Yenisei River, which is continuously affected by human activities.

**The aim of the study** is to determine concentrations of such chemical elements as Na, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Ba, Al, Mn, U, Mo, Cr, Ni, As, Co, Sr, Fe, Pb, Cd, and Bi in water of the Yenisei River between the city of Krasnoyarsk and the outfall of the Angara River.

**The methods used in the study.** Total contents of the elements were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry, using an Agilent 7500a instrument.

**The results.** The study showed the changes in average concentrations of 20 chemical elements in water of the Yenisei River between the city of Krasnoyarsk and the outfall of the Angara River (the village Strelka), for 2010–2015. Comparison of the data obtained with the levels of maximum permissible concentrations showed that the examined part of the Yenisei River contained the increased concentrations of Fe, Cu, Mn, Al, and Zn. For the study period, the magnitudes of average concentrations of Fe reached 1...2 maximum permissible concentrations (MPC) and Cu concentrations reached 1...5 MPC. The average concentrations of Mn amounted to 1...3 MPC in the parts of the river over 90 km downstream of Krasnoyarsk (at the villages Atamanovo and Strelka). Cu, Fe, and Zn concentrations tend to increase somewhat in the parts of the river over 90 km downstream of Krasnoyarsk, which may be caused by the influence of the industrial complex of the town Zheleznogorsk and the outfall of the Kan River, with the large industrial facilities located along its banks, in Zelenogorsk, in particular.

### Key words:

Water, heavy metals, microelements, screening, the Yenisei River, water quality.

### REFERENCES

1. Audry S., Schäfer J., Blanc G., Jouanneau J. M. Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France). *Environmental Pollution*, 2004, no. 132 (3), pp. 413–426.
2. Kumar R.N., Solanki R., Kumar J.I.N. Seasonal variation in heavy metal contamination in water and sediments of river Sabarmati and Kharicut canal at Ahmedabad, Gujarat. *Environmental monitoring and assessment*, 2013, no. 185 (1), pp. 359–368.
3. Karbassi A.R., Heidari M., Vaezi A.R., Samani A.V., Fakhraee M., Heidari F. Effect of pH and salinity on flocculation process of heavy metals during mixing of Aras River water with Caspian Sea water. *Environmental earth sciences*, 2014, no. 72 (2), pp. 457–465.
4. Leung H.M., Leung A.O.W., Wang H.S., Ma K.K., Liang Y., Ho K.C., Yung K.K.L. Assessment of heavy metals/metalloid (As, Pb, Cd, Ni, Zn, Cr, Cu, Mn) concentrations in edible fish species tissue in the Pearl River Delta (PRD), China. *Marine pollution bulletin*, 2014, no. 78 (1), pp. 235–245.
5. Nazeer S., Hashmi M.Z., Malik R.N. Heavy metals distribution, risk assessment and water quality characterization by water quality index of the River Soan, Pakistan. *Ecological Indicators*, 2014, no. 43, pp. 262–270.
6. Mohamed E.H.A., Osman A.R. Heavy metals concentration in water, muscles and gills of *Oreochromis niloticus* collected from the sewage-treated water and the White Nile. *International Journal of Aquaculture*, 2014, no. 4, pp. 36–42.
7. Islam M.S., Ahmed M.K., Raknuzzaman M., Habibullah-Al-Mamun M., Islam M.K. Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*, 2015, no. 48, pp. 282–291.
8. Nguyen T.T.H., Zhang W., Li Z., Li J., Ge C., Liu J., Yu L. Assessment of heavy metal pollution in Red River surface sediments, Vietnam. *Marine Pollution Bulletin*, 2016, no. 113 (2), pp. 513–519.
9. Abraham M.R., Susan T.B. Water contamination with heavy metals and trace elements from Kilembe copper mine and tailing sites in Western Uganda; implications for domestic water quality. *Chemosphere*, 2017, no. 169, pp. 281–287.
10. *Kachestvo poverkhnostnykh vod Rossiiskoy Federatsii. Ezhegodnik za 2013, 2014, 2015 gody s prilozheniyami* [Quality of surface waters of the Russian Federation. Yearbook for 2013, 2014 and 2015 with applications]. Ed. by A.M. Nikanorov. Rostov-na-Donu, FGBU Gidrokhimichesky Institut Press, 2014, 2015, 2016. Available at: <http://gidrohim.com/node/55> (accessed 27 December 2016).

11. Kondrat'eva L.M., Andreeva D.V., Golubeva E.M. Influence of large tributaries on biogeochemical processes in the Amur river. *Geography and Natural Resources*, 2013, vol. 34, no. 2, pp. 129–136.
12. Kurmanova L.G., Kulagin A.Yu. Dynamics of content and distribution of chemical elements in waters of the rivers of the Bashkir Trans-Urals. *Vestnik Udmurtskogo universiteta*, 2012, no. 6–1, pp. 3–8. In Rus.
13. Savichev O.G. Regional features of chemical composition of river waters of Siberia and their consideration at rationing wastewater discharges. *Voda: khimiia i ekologiya*, 2014, no. 1, pp. 41–46. In Rus.
14. Savichev O.G., Matveenko I.A. Evaluation of chemical composition changes of surface water in Boguchan Reservoir (Siberia, Russia). *Hydrological Sciences Journal*, 2013, vol. 5, no. 2, pp. 1–10.
15. Karnaukhova G.A. Water quality and protection: environmental aspects hydrochemistry of the Angara and Reservoirs of the Angara Cascade. *Water Resource*, 2008, vol. 35, no. 1, pp. 71–79.
16. Anishchenko O.V., Gladyshev M.I., Kravchuk E.S., Kalacheva G.S., Gribovskaia I.V. Assessment of the Yenisei River anthropogenic pollution by metals concentrations in the main ecosystem compartments upstream and downstream Krasnoyarsk city (Russia). *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 2010, no. 1, pp. 82–98. In Rus.
17. Kolesnikov V.A., Boichenko N.B. Annual and seasonal dynamics of heavy metal content in water of the Krasnoyarsk territory rivers Yenisei, Chulyum, Kan. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2014, no. 5, pp. 142–147. In Rus.
18. Savichev O.G., Kopylova Yu.G., Khvashchenskaya A.A. Ecological and geochemical state of the Angara River and its tributaries in the area from the city of Ust-Ilimsk down to Boguchany (Eastern Siberia). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 318, no. 1, pp. 150–154. In Rus.
19. Savichev O.G., Kolesnichenko L.G., Saifulina E.V. The ecologo-geochemical state of water bodies in the Taz-Yenisei interflaves. *Geography and Nature Resources*, 2011, vol. 32, no. 4, pp. 333–336.
20. Bondareva L.G., Zhuk A.S., Sursiakova V.V., Rubailo A.I., Tananaev N.I., Tananaev I.G. Chemical and ecological status of the district Igarka Krasnoyarsk territory. *Journal of Siberian Federal University. Chemistry*, 2013, vol. 6, no. 3, pp. 313–320. In Rus.
21. Bolsunovskii A.Y., Degermendzhi A.G., Zhizhaev A.M., Rubailo A.I., Saprykin A.I. First data on the uranium content in water of the Yenisei River basin in the area affected by the operation of Rosatom plants. *Doklady Earth Sciences*, 2011, vol. 439, no. 1, pp. 1010–1015.
22. Dement'ev D.V., Bolsunovsky A.Ya., Borisov R.V., Trofimova E.A. Concentrations of heavy metals in bottom sediments of the Yenisei river in the city of Krasnoyarsk. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2015, vol. 326, no. 5, pp. 91–98. In Rus.
23. Karandashev V.K., Turanov A.N., Orlova T.A., Lezhnev A.E., Nosenko S.V., Zolotareva N.I., Moskvina I.R. Use of mass spectrometry with inductively coupled plasma method for element analysis of surrounding medium objects. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 2007, vol. 73, no. 1, pp. 12–22. In Rus.
24. Avigliano E., Schenone N.F., Volpedo A.V., Goessler W., Cirelli A.F. Heavy metals and trace elements in muscle of silverside (*Odontesthes bonariensis*) and water from different environments (Argentina): aquatic pollution and consumption effect approach. *Science of the Total Environment*, 2015, no. 506, pp. 102–108.
25. *Perechen rybokhoziaystvennykh normativov: predelno dopustimyykh kontsentratsiy (PDK) i orientirovochno bezopasnykh urovnay vozdeystviya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vody vodnykh obektov, imeyushchikh rybokhoziaystvennoe znachenie* [The list of fishery regulations: maximum permissible concentration and exposure limits of pollutants to the water of water bodies of fishery significance]. Moscow, VNIRO Publ., 1999. 304 p.
26. *Predelno dopustimye kontsentratsiy (PDK) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh obektov khoziaystvenno-pitevogo i kulturno-bytovogo vodopolzovaniya Gigienicheskie normativy GN 2.1.5.1315–03* [Maximum permissible concentration of chemicals in water of drinking and cultural water bodies and community water use. Hygienic standards GN 2.1.5.1315–03]. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_43149/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_43149/) (accessed: 27 December 2016).
27. Nikanorov A.M. *Spravochnik po gidrokhimii* [Handbook on hydrochemistry]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1989. 390 p.

Received: 20 February 2017.

#### Information about the authors

**Dmitry V. Dement'ev**, Cand. Sc., research associate, Radioecology Laboratory, Institute of Biophysics Siberian Branch Russian Academy of Sciences FRC KSC SB RAS.

**Alexander Ya. Bolsunovskiy**, Dr. Sc., head of Radioecology Laboratory, Institute of Biophysics Siberian Branch Russian Academy of Sciences FRC KSC SB RAS.

**Roman V. Borisov**, Cand. Sc., engineer, Radioecology Laboratory, Institute of Biophysics Siberian Branch Russian Academy of Sciences; research associate, ICCT SB RAS FRC KSC SB RAS.

**Yuliyana V. Alexandrova**, engineer, Radioecology Laboratory, Institute of Biophysics Siberian Branch Russian Academy of Sciences FRC KSC SB RAS.