

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАЛЫХ РЕК, ВПАДАЮЩИХ В ИВАНЬКОВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ (Р. ВОЛГА)

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL STUDIES OF SMALL RIVERS FLOWING INTO THE IVANKOV RESERVOIR (VOLGA RIVER)

Впервые проведено комплексное эколого-геохимическое исследование малых рек Орша, Созь, Бабенка, Дойбица, Инюха, Донховка, впадающих в Иваньковское водохранилище (р. Волга), включающее комплексное изучение закономерностей распределения микроэлементов (Li, Be, B, Sc, V, Cr, Co, Ni, Ga, Rb, Y, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, La, Ce, Pb, Bi, Th, U) в поверхностных водах, донных осадках и иловых водах, а также в высшей водной растительности (макрофитах). Дана оценка техногенного загрязнения донных отложений малых рек, рассчитаны формулы геохимических ассоциаций элементов-загрязнителей и рассчитаны суммарные показатели загрязнения донных осадков. Выполнен расчет величины потока загрязняющих веществ, поступающих в Иваньковское водохранилище с водой малых притоков. Отдельно исследовались устьевые зоны рек в местах впадения в водохранилище и мелководья, зарастающие водной растительностью. Приведены данные о содержании микроэлементов в макрофитах различных экологических групп (гидрофитов, гелофитов, гидатофитов), составляющих основу биоценозов малых рек.

Ключевые слова: малые реки, Иваньковское водохранилище, донные осадки, поверхностные воды, макрофиты

For the first time carried out a comprehensive ecological-geochemical study of small rivers Orsha, Soz, Babenka, Doibitsa, Inuha, Donhowka, flowing into the Ivankovskoye reservoir (Volga river), including a comprehensive study of the distribution of trace elements (Li, Be, B, Sc, V, Cr, Co, Ni, Ga, Rb, Y, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, La, Ce, Pb, Bi, Th, U) in surface waters, bottom sediments and pore waters, and in higher aquatic plants (macrophytes). The assessment of anthropogenic pollution of bottom sediments of small rivers is given, formulas of geochemical associations of elements-pollutants are calculated and the total indicators of pollution of bottom sediments are calculated. The calculation of the flow of pollutants entering the Ivankovskoye reservoir with water of small tributaries is made. Separately investigated the estuarine zones of rivers in areas of confluence in the reservoir and the shallow water, overgrown by aquatic vegetation. The data on the content of trace elements in macrophytes of different ecological groups (hydrophytes, helophytes, hydrophytes), which form the basis of biocenoses of small rivers.

Key words: small rivers, Ivankovskoye reservoir, bottom sediments, surface waters, macrophytes

Е.С. Гришанцева*, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, кафедра геохимии, геологический факультет, Московский государственный университет им. Ломоносова

Я.В. Бычкова, кандидат геолого-минералогических наук, заведующая сектором, лаборатория экспериментальной геохимии, Геологический факультет, Московский государственный университет им. Ломоносова

Л.П. Федорова, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства» ФГБНУ «ГосНИОРХ», Верхне-Волжское отделение

E.S. Grishantseva*, PhD of Geological-Mineralogical Science, Research worker, Geochemistry Division, Geological Department, Moscow, Lomonosov State University,

Ya.V. Bychkova, PhD of Geological-Mineralogical Sciences, Head of sector, laboratory of experimental Geochemistry, faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University

L.P. Fedorova, Senior research worker, Federal state scientific institution «State research institute of lake and river fisheries» FGBNU «GosNIORKh» Upper Volga branch

*Адрес для корреспонденции: shes99@mail.ru

Е.С. Гришанцева и др. // № 1-2 январь-февраль 2019. с. 15–26.

Введение

Иваньковское водохранилище, самое верхнее из водохранилищ Волжского каскада, созданное на р. Волга в 1937 году, в настоящее время используется для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения г.Москвы,

гидроэнергетики и рекреации. Объектами исследования являются малые реки (притоки), впадающие непосредственно в Иваньковское водохранилище — р. Орша, р. Созь, р. Бабенка, р. Дойбица, р. Инюха, р. Донховка (рис. 1).

Изучение эколого-геохимического состояния малых рек важно по целому ряду причин.

Малые притоки в значительной степени определяют гидрологический режим и качество вод водохранилища. Состав поверхностных вод и донных осадков малых рек отражает в совокупности как влияние природных факторов, так и уровень антропогенной нагрузки на площади их водосборов. Поскольку неудовлетворительное экологическое состояние малых рек может оказывать негативное влияние на качество воды водохранилища, акватории исследуемых малых притоков и их водосборные территории включены во второй пояс зоны санитарной охраны Ивановского водохранилища. Ресурсы малых рек Тверской области играют большое региональное значение как источники коммунально-бытового и сельскохозяйственного водоснабжения, рыбоводства и рекреации. Экосистемы малых рек менее устойчивы к воздействию негативных антропогенных факторов из-за небольших размеров. Малые притоки выполняют роль природных фильтров, предохраняющих водохранилища от поступления взвешенного вещества с аккумулярованными на нем загрязняющими веществами, что приводит к формированию геохимических аномалий в донных отложениях. При этом регулярные наблюдения на притоках Ивановского водохранилища практически не проводятся, данных о микроэлементном составе поверхностных вод, донных осадков и водной растительности очень мало [1, 2].

Целью работы являлась комплексная оценка эколого-геохимического состояния малых рек, впадающих непосредственно в Ивановское водохранилище (р. Волга). Были поставлены задачи исследовать химический состав и выявить закономерности распределения микроэлементов в абиотических компонентах (донных осадках, поверхностных водах, иловых водах) и биоте (макрофитах) экосистем малых рек водосбора Ивановского водохранилища. Для выявления роли высшей водной растительности в процессах миграции микроэлементов в малых реках и влияния их на качество воды проведены исследования распределения микроэлементов в донных осадках и поверхностных водах как на зарастающих высшей водной растительностью участках малых рек, так и в их устьях. Важнейшей задачей являлось не только определение степени и характера загрязнения экосистем малых рек, но и установление «самоочищающей» способности зарастающих высшей водной растительностью (ВВР) участков рек.

Гидрография Конаковского района Тверской области представляет собой развитую речную сеть, образованную р. Волгой (Ивановским водохранилищем) и ее притоками (малыми реками): левые притоки – р. Орша, р. Созь, р. Бабенка и правые притоки – р. Дойбица, р. Инюха, р. Донховка. Водосборные бассейны малых рек расположены на территории Конаковского и Калининского районов

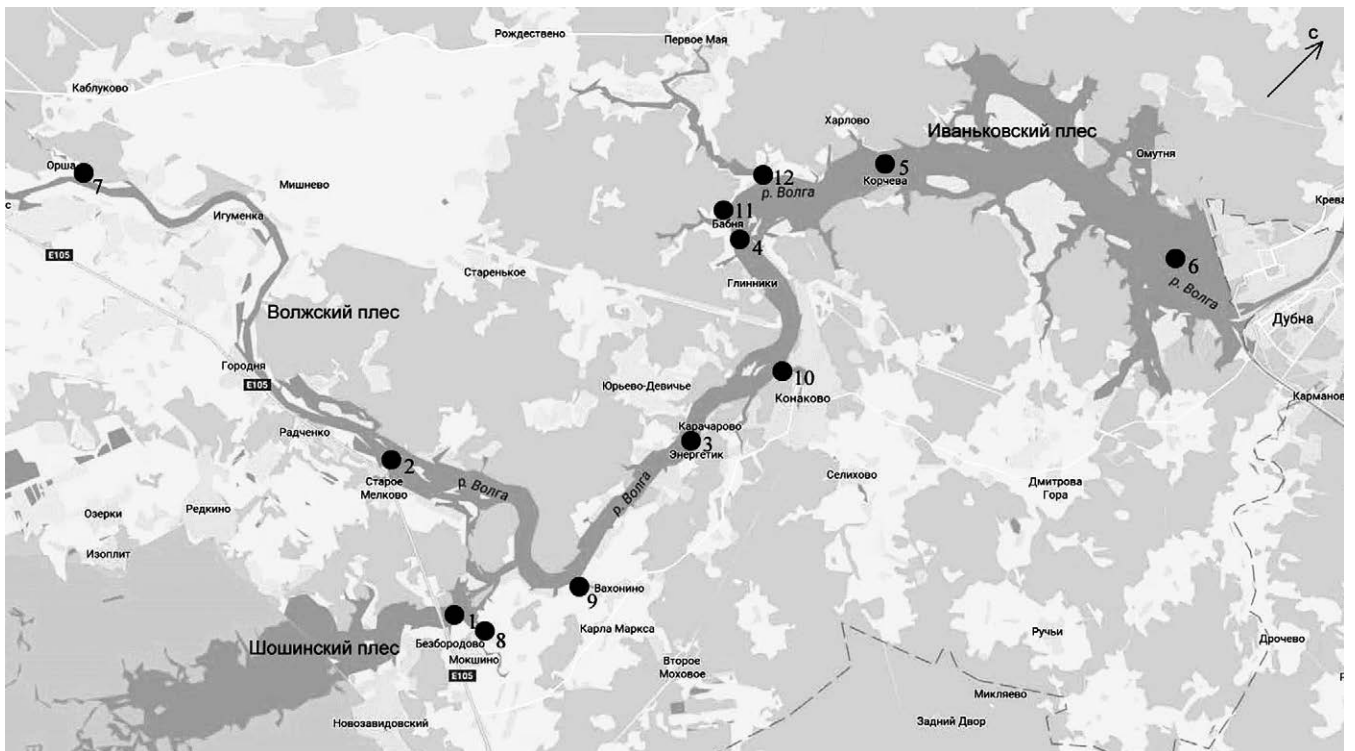


Рис. 1. Схема отбора проб на малых реках и Ивановском водохранилище (р. Волга). Условные обозначения: створы опробования: 1- Безбородово, 2 — Мелково, 3 — Плоски, 4 — водозабор КГРЭС, 5 — Корчева, 6 — приплотинный участок; малые реки: 7- р. Орша, 8-р. Инюха, 9 — р. Дойбица, 10- р. Донховка, 11-р. Бабенка, 12-р. Созь.

Тверской области, а также Клинского района Московской области. Все малые реки незначительны по протяженности: Орша 72 км, Созь 34 км, Донховка 27 км, Дойбица 24 км, Инюха 33 км, Бабенка 10 км и имеют небольшие площади водосбора — Орша 752 км², Созь 575 км², Донховка 158 км², Дойбица 192 км², Инюха 392 км², Бабенка 24 км². Реки характеризуются небольшими уклонами русел и медленным течением. Среднегодовой расход воды составляет от 1,03 м³/с для р. Донховка; 1,25 м³/с для р. Дойбица; 1,49 м³/с для р. Инюха; 2,5 м³/с для р. Бабенка; 3,7 м³/с для р. Созь; до 5 м³/с для р. Орша. Глубины рек незначительны и в среднем составляют 0,5-1 м. По условиям питания и режиму эти реки относятся к восточно-европейскому типу рек, с высоким половодьем, низкой летней и зимней меженью и повышенным стоком осенью. Более 50% в водном балансе приходится на талые снеговые воды, 25-35% на грунтовые воды и 15-20% на дождевое питание. Водный баланс (осадки минус испарение) положителен [1].

Гидрологический режим и гидрохимический состав малых рек определяется главным образом природными факторами (ландшафтными условиями территории водосбора, подземным стоком грунтовых вод). Большое влияние на состав воды могут оказывать антропогенные факторы, поскольку именно малые реки являются приемниками сточных вод, в них поступает загрязнение из водоносных горизонтов и поверхностный сток [3].

На территории водосборов малых рек находятся как неконтролируемые источники загрязнения вод — поверхностный сток с селитебных и сельскохозяйственных территорий, рекреационных объектов на территории водосборов рек Инюха, Орша, Созь, Бабенка, Донховка, Дойбица, так и контролируемые источники сброса сточных вод — на водосборе р. Донховка расположены фаянсовый завод, завод мехинструмента, сельскохозяйственные предприятия совхоза «Конаковский», свиноводческий комплекс; на водосборе р. Дойбицы — стекольный завод, трасса М10, Завидовская птицефабрика и совхоз «Завидово». Основными антропогенными источниками воздействия на р. Орша и ее водосборную территорию служат торфодобывающие предприятия «Васильевский мох», «Оршинское-1»; сельскохозяйственные предприятия и садово-огородные товарищества; и зверсовхоз «Савватьевский».

Материалы и методы исследований

Полеовое опробование проводилось в июле 2016 г. в устьевых зонах и зарослях ВВР малых рек, впадающих в Ивановское

водохранилище: на правосторонних притоках — рр. Дойбица, Инюха, Донховка; на левосторонних притоках — рр. Орша, Бабенка, Созь. Схема расположения станций опробования приведена на рис. 1. Пробы донных осадков отбирали с борта лодки при помощи дночерпателя в пластиковые емкости объемом 1л, высушивали при комнатной температуре, получали среднюю пробу методом квартования. Пробы воды отбирали из поверхностного горизонта при помощи батометра, фильтровали сначала через планктонную сеть с размером ячеек 0,5 мм, а затем через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм, консервировали 10-ю мл HNO_{3конц} на 1 л пробы. Для выделения иловых (поровых) вод из донных осадков использовали лабораторный пресс фирмы Perkin Elmer с интервалом подаваемых нагрузок от 0,25 до 8 тонн. Нагрузка подавалась постепенно для равномерного отжатия. Полученные иловые воды фильтровали через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм и подкисляли HNO_{3конц}.

Пробы высшей водной растительности отбирали в комплексах сильного зарастания ВВР, где покрытие достигало 80-100%. С участка площадью 1 м² отбирали надкорневую часть растения, промывали под проточной водой, высушивали, измельчали в мельнице, озоляли при 450⁰С 4 часа для получения средней пробы. В исследованную группу растений вошли виды разных экологических групп, которые вносят основной вклад в биомассу растительных сообществ малых рек: гидрофиты — погруженные в воду растения (рдест пронзеннолистный *Potamogeton perfoliatus* L., роголистник темно-зеленый *Ceratophyllum demersum* L.), гелофиты — водно-болотные растения (манник водяной *Glyceria aquatica* (L.) Wahlb., камыш озерный *Scirpus lacustris* (L.) Palla), гидатофиты — полупогруженные растения (кубышка желтая *Nuphar luteum* (L.) Smith., водяной орех *Trapa natans*).

Для прямого определения концентраций элементов (B, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, Ba, Pb) в пробах донных отложений и золе водной растительности использовали метод атомно-эмиссионной спектроскопии с дуговым разрядом на установке «АИ-3К Резонанс» с фотоэлектрической регистрацией спектров [4] на геологическом факультете МГУ.

Определение гидрохимических показателей поверхностных вод проводили по стандартным методикам в Верхнее-Волжском отделении ГосНИОРХ. Определение широкого круга элементов (Li, Be, B, Sc, V, Cr, Co, Ni, Ga, Rb, Y, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, La, Ce, Pb, Bi, Th, U) в поверхностных и иловых водах проводилось методом масс-спектрометрии с индук-

тивно-связанной плазмой на приборе Thermo Scientific Element-2 [5] на геологическом факультете МГУ.

Результаты и их обсуждение

Исследование природных вод

В табл. 1 приведен сравнительный анализ гидрохимических показателей воды малых рек и воды створов Иваньковского водохранилища. Средние значения гидрохимических показателей, приведенные в табл. 1, рассчитаны для соответствующих значений шести основных створов Иваньковского водохранилища (Мелково, Безбородово, Плоски, Корчева, плотина) в летний период (июль 2016 г.).

Установлено, что воды малых рек характеризуются более высокой по сравнению с водохранилищем минерализацией — от 325 до 479 мг/л (в среднем 393 мг/л), минерализация вод Иваньковского водохранилища в летний период составляет в среднем 210-250 мг/л, и относится к гидрокарбонатному классу кальциевой группы. Кроме этого, воды малых рек отличаются повышенной цветностью — от 45 до 375 град. Сг-Со шкалы (в среднем 115), цветность вод Иваньковского водохранилища составляет в среднем 58 град.; и более высокими значениями перманганатной окисляемости. Т.е. важной особенностью состава вод малых рек является высокое содержание в них органического вещества, поступающего с территории водосбора. В анионном составе воды малых притоков, также, как и в Иваньковском водохранилище, со-

держание сульфатов превышает содержание хлоридов, а магний содержится в более высоких концентрациях, чем натрий.

Данные о содержании микроэлементов в воде малых рек приведены в табл. 2. Результаты анализов показали, что концентрации всех исследованных микроэлементов в воде устьев малых рек имеют более высокие значения по сравнению с водой водохранилища. Полученные концентрации всех исследованных микроэлементов в поверхностных водах всех малых притоков не превышают ПДК для вод хозяйственно-бытового назначения. Самые высокие содержания большинства микроэлементов в воде устьев получены для левобережных притоков — рек Орша и Бабенка, и для правосторонних притоков — рек Дойбица и Донховка.

Важным природным фактором формирования качества воды рек Орша, Бабенка и Созь является наличие крупных заболоченных районов и торфяных массивов на левом берегу водохранилища. Реки Орша, Созь, Бабенка дренируют крупные болотные и торфяные массивы Васильевский мох и Оршинский мох, что приводит к поступлению в них специфического органического вещества, с которым также связаны микроэлементы. Из всех исследованных рек р. Орша имеет самую большую площадь водосбора 752 км², и характеризуется высокой заболоченностью водосборного бассейна. Величина pH для воды р. Орша достигает значения 8,2 в связи с поступлением аллохтонного органического вещества с заболоченных участков и активными внутренними процессами интенсивного развития фитопланктона в летний период, вследствие которых вода реки подще-

Таблица 1

Сравнительный анализ гидрохимического состава воды малых притоков и створов Иваньковского водохранилища

Гидрохимический показатель	Концентрация	
	Малые реки	Иваньковское водохранилище
pH	7,4-8,2 (среднее 7,7)	8,1-8,2 (среднее 8,1)
щелочность общая, мг-экв/дм ³	0,6-4,6 (среднее 2,9)	2,2-2,9 (среднее 2,6)
жесткость общая, мг-экв/дм ³	0,8-4,8 (среднее 3,2)	2,7-3,2(среднее 2,9)
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	37-280 (среднее 177)	134-177 (среднее 161)
цветность, град. Сг-Со шкалы	45-375 (среднее 151)	42-68 (среднее 58)
Ca ²⁺ , мг/дм ³	14-63 (среднее 44,5)	31,9-38,7 (среднее 35,8)
Mg ²⁺ , мг/дм ³	1-19,8 (среднее 12,2)	9,7-14,3(среднее 11,7)
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	7,1-18,3 (среднее 13)	8,3-11,5(среднее 9,4)
Cl ⁻ , мг/дм ³	1,3-14,7 (среднее 6,1)	6,3-9(среднее 7,8)
Σ Na+K, мг/дм ³	0,8-9,8 (среднее 5,7)	4,7-10,5(среднее 7,7)
Si, мг/дм ³	0,6-2,6 (среднее 1,6)	0,6-2,0 (среднее 1,1)
O ₂ раств, мг/дм ³	4,5-11,3 (среднее 7,3)	6,2-7,8 (среднее 7,1)
перманганатная окисляемость, мгO /дм ³	15,7-64,8 (среднее 31)	6,9-14,4 (среднее 10,6)
N-NH ₄ ⁺ , мгN/дм ³	0,2-0,8 (среднее 0,4)	0,1-0,2 (среднее 0,2)
N-NO ₂ ⁻ , мгN/дм ³	0,01-0,06 (среднее 0,02)	0,01-0,02 (среднее 0,01)
N-NO ₃ ⁻ , мгN/дм ³	0,5-2,3 (среднее 0,9)	0,1-0,5 (среднее 0,2)
P _{мин} , мг/дм ³	0,01-0,1 (среднее 0,04)	0,03-0,04 (среднее 0,03)

Продолжение таблицы 1

Гидрохимический показатель	Концентрация	
	Малые реки	Иваньковское водохранилище
Fe _{общее} , мг/дм ³	0,1-1,9 (среднее 0,5)	0,4-0,5 (среднее 0,4)
БПК ₅ , мгО/дм ³	1,2-7 (среднее 3,1)	2,1-5,2 (среднее 2,9)
минерализация, мг/дм ³	67-402 (среднее 262)	191-250 (среднее 226)

Таблица 2

Содержание микроэлементов в поверхностных и иловых водах малых рек, мкг/л

Микроэлементы	Li	Be	B	Sc	V	Cr	Co	Ni	Ga	Rb	Y	Zr	Mo
р. Орша, устье													
поверхностная вода	2,8	0,007	35,1	0,010	0,44	0,2	1,41	1,38	0,18	1,8	0,1	0,26	0,21
иловая вода	4,5	0,033	52,1	0,090	2,47	4,3	1,59	5,95	0,13	3,8	0,8	0,77	0,76
КК	1,6	4,6	1,5	9	5,6	17	1,1	4,3	0,7	2	8	2,9	3,6
р. Орша, заросли ВВР													
поверхностная вода	0,2	0,001	4,3	<0,001	0,32	0,6	0,04	0,31	0,09	0,2	0,05	0,04	0,42
иловая вода	1,4	0,019	29,9	0,030	1,9	0,9	0,53	4,12	0,09	2	0,44	0,37	0,19
КК	6,7	32	6,9	-	5,9	1,3	13	13	1	8,8	9,7	8,3	0,5
р. Созь, устье													
поверхностная вода	1,6	0,002	11,5	0,007	0,41	0,2	0,57	0,73	0,03	4,1	0,06	0,16	0,01
иловая вода	2,6	0,009	24,4	0,004	0,18	0,7	0,74	7,16	0,01	6,1	0,06	0,27	0,23
КК	1,6	4,1	2,1	0,5	0,4	3,6	1,3	9,8	0,3	1,5	1	1,7	23
р. Созь, заросли ВВР													
поверхностная вода	1,8	0,007	10,8	0,030	0,46	0,3	0,11	0,84	0,03	1,4	0,08	0,04	0,20
иловая вода	1,6	0,008	14,9	0,004	1,04	1,7	0,44	2,14	0,08	2,5	0,19	0,14	0,46
КК	0,9	1,1	1,4	0,13	2,2	5,3	4	2,5	2,6	1,7	2,4	3,4	2,3
р. Бабенка, устье													
поверхностная вода	1,9	0,005	13,6	0,012	0,32	0,3	1,14	0,62	0,03	4,4	0,10	0,35	<0,01
иловая вода	2,3	0,009	30,2	0,011	0,39	0,5	1,05	3,06	0,01	5,5	0,12	0,37	0,1
КК	1,2	1,7	2,2	0,9	1,2	1,6	0,9	4,9	0,3	1,2	1	1	-
р. Дойбица, устье													
поверхностная вода	1,6	0,003	25,6	0,005	0,62	0,2	0,38	0,80	0,15	1,1	0,07	0,16	0,22
иловая вода	3,5	0,022	50,8	0,050	2,5	1,2	2,11	5,95	0,03	4,6	0,38	1,2	0,55
КК	2	6,9	2	8,8	4	8,2	5,5	7,4	0,2	4	5	7,6	2,5
р. Дойбица, заросли ВВР													
поверхностная вода	0,9	0,008	12,7	0,007	0,53	0,4	0,11	0,68	0,04	0,7	0,05	0,07	0,40
иловая вода	2	0,028	25,4	0,010	2,44	0,8	0,84	3,56	0,10	2,5	0,45	0,38	0,38
КК	2,2	3,4	2	1,4	4,6	2	7,6	5,2	2,5	3,8	8	5,3	0,9
р. Инюха, устье													
поверхностная вода	1,7	0,001	11,8	0,010	0,03	0,1	1,69	1,12	0,01	3,7	0,03	0,13	0,09
иловая вода	1,6	0,001	25,5	0,004	0,37	0,2	0,46	1,67	0,01	4,6	0,05	0,15	0,11
КК	0,9	1,0	2,1	0,4	12	2	0,27	1,5	1	1,2	1,6	1,2	1,2
р. Донховка, устье													
поверхностная вода	1,3	0,002	44,5	0,001	1,09	0,3	0,16	0,77	0,06	0,7	0,04	0,07	0,19
иловая вода	1,7	0,003	72,6	0,002	0,73	0,6	0,74	2,44	0,01	2,4	0,06	0,12	0,56
КК	1,3	1,5	1,6	2	0,6	1,9	4,6	3,2	0,1	3,5	1,7	1,7	2,9
р. Донховка, заросли ВВР													
поверхностная вода	2,1	0,005	22,6	0,010	1,26	0,4	0,11	1,03	0,05	1,5	0,06	0,08	0,27
иловая вода	1,6	0,018	23,7	0,040	1,52	0,6	0,58	3,12	0,03	1,8	0,47	0,22	0,16
КК	0,8	3,7	1	4	1,2	1,5	5,3	3	0,65	1,2	7,4	2,7	0,6
Иваньковское водохранилище (среднее значение концентраций для 6 створов)													
поверхностная вода	0,6	<0,001	7,9	<0,001	0,6	0,2	0,1	0,55	0,05	0,9	0,08	0,03	0,15

Продолжение таблицы 2

Микроэлементы	Ag	Cd	Sn	Sb	La	Ce	Pb	Bi	Th	U
р. Орша, устье										
поверхностная вода	0,001	0,09	0,052	0,06	0,13	0,26	1,80	0,03	0,010	2,4
иловая вода	0,004	0,16	0,364	0,46	0,94	2,36	14,50	0,03	0,140	1,5
КК	2,6	1,7	7	8	7,3	9	8	1	23	0,6
р. Орша, заросли ВВР										
поверхностная вода	0,008	0,03	0,064	0,06	0,06	0,12	0,24	0,08	<0,001	0,3
иловая вода	0,001	0,06	0,173	0,18	0,50	1,18	1,30	0,03	0,040	0,5
КК	0,005	2	2,7	2,9	8,4	10	5,5	0,4	-	1,5
р. Созь, устье										
поверхностная вода	<0,001	0,02	0,005	0,03	0,04	0,09	0,41	0,01	0,003	0,3
иловая вода	<0,001	0,02	<0,002	0,09	0,01	0,03	0,05	<0,001	<0,001	0,4
КК	-	1	-	2,7	0,3	0,3	0,12	-	-	1,2
р. Созь, заросли ВВР										
поверхностная вода	0,002	0,05	0,043	0,07	0,11	0,21	0,34	0,02	0,001	0,7
иловая вода	0,006	0,15	0,089	0,35	0,29	0,56	5,36	0,06	0,005	0,5
КК	2,9	3	2	5,3	2,7	2,6	16	3	5	0,7
р. Бабенка, устье										
поверхностная вода	<0,001	0,04	0,002	0,01	0,05	0,11	0,39	0,01	0,003	0,2
иловая вода	0,029	0,04	0,016	0,05	0,07	0,16	0,23	0,01	0,005	0,2
КК	-	1	8	5	1,4	1,5	0,6	1	1,6	1
р. Дойбица, устье										
поверхностная вода	0,002	0,02	0,025	0,04	0,07	0,12	0,70	0,03	0,002	0,8
иловая вода	0,011	0,07	0,087	0,19	0,26	0,65	4,10	0,01	0,040	0,4
КК	4,9	3	3	4,8	3,5	5,5	5,8	0,3	20	0,5
р. Дойбица, заросли ВВР										
поверхностная вода	0,019	0,06	0,140	0,06	0,08	0,18	0,42	0,06	0,020	0,7
иловая вода	0,001	0,18	0,089	0,11	0,88	1,82	1,10	0,03	0,020	1,0
КК	0,03	3	0,65	1,8	10	10	2,6	0,5	1	1,3
р. Инюха, устье										
поверхностная вода	<0,001	0,04	<0,002	0,03	0,01	0,01	0,01	<0,001	<0,001	0,5
иловая вода	0,013	0,05	<0,002	0,07	0,01	0,02	0,02	<0,001	<0,001	0,7
КК	-	1,4	-	2,8	1	2	2,7	-	-	1,3
р. Донховка, устье										
поверхностная вода	<0,001	0,03	0,027	0,13	0,03	0,06	0,61	0,02	<0,001	0,5
иловая вода	0,006	0,22	0,018	0,18	0,04	0,09	0,31	0,01	0,020	0,5
КК	-	7,4	0,7	1,4	1,3	1,5	0,51	0,05	-	0,8
р. Донховка, заросли ВВР										
поверхностная вода	<0,001	0,06	0,110	0,19	0,07	0,13	0,70	0,05	<0,001	2,8
иловая вода	0,004	0,21	0,037	0,13	0,44	1,04	2,50	0,01	0,030	1,5
КК	-	3,5	0,3	0,7	6,2	8	3,6	0,2	-	0,5
Иваньковское водохранилище (среднее значение концентраций для 6 створов)										
поверхностная вода	0,010	0,02	0,07	0,39	0,08	0,19	0,54	0,09	<0,001	0,3

Примечание: КК- коэффициент концентрации, рассчитывался как отношение концентрации элемента в иловой воде к концентрации в придонной воде.

лачивается. Оценка содержания сульфатов, хлоридов, аммонийного иона, фосфатов, поступление которых в природные воды является индикатором антропогенного влияния, показала, что вода р. Орши характеризуется самыми низкими значениями из всех исследованных малых рек. Водосборы рек Созь и Бабенка характеризуются наиболее высокой залесенностью, самой

низкой степенью хозяйственного освоения, отсутствием промышленного и сельскохозяйственного природопользования.

Для определения вклада растворенного стока малых рек в изменение химического состава воды Иваньковского водохранилища выполнен расчет потока загрязняющих веществ, поступающих с водой малых рек. Расчет величины по-

тока загрязняющих веществ проводился для суммарного содержания микроэлементов Mo, Pb, V, Cr, Cd, Ni, Co, Sb, Bi в поверхностных водах с учетом среднегодового расхода воды для каждого притока (рис. 2). Эти элементы относятся к группе «тяжелых металлов», характеризуются высокими показателями способности к биоаккумуляции и токсичности для живых организмов водных экосистем. Выявлено, что самое большое количество тяжелых металлов поступает в Ивановское водохранилище с водой рек Орша, Созь и Бабенка.

Для оценки вероятности вторичного загрязнения придонных вод вследствие поступления микроэлементов из донных осадков в водную среду проведено определение их содержания в иловых (поровых) водах донных отложений и рассчитаны коэффициенты концентрации (КК) относительно поверхностных вод (табл. 2). Полученные значительные градиенты концентраций большинства микроэлементов между иловыми водами и поверхностными водами свидетельствуют о возможности вторичного загрязнения поверхностных вод. Самые высокие КК были получены для иловых вод донных осадков устья и зарослей ВВР р. Орша. Процессы выноса биогенных элементов из донных отложений в условиях возникающей летом аноксии гипоплимниона, описанные в работе [6], могут сопровождаться поступлением микроэлементов, ассоциированных с органическим веществом и биогенными элементами в придонные горизонты вод. Изменение физико-химических и гидродинамических условий также приведет к вторичному загрязнению вод водохранилища тяжелыми металлами. Донные осадки являются средой обитания бентосных водных организмов, для которых высокие содержания микроэлементов в иловых водах могут быть токсичными.

Исследование донных осадков

Сравнение концентраций микроэлементов в донных осадках устьев большинства малых

рек с содержаниями, полученными для осадков основных створов Ивановского водохранилища, показывает более высокие концентрации для малых рек (табл. 3). Исключение составляют донные осадки устья р. Орша, которые характеризуются в среднем меньшей интенсивностью накопления в них всех микроэлементов относительно створов водохранилища.

Донные осадки, в отличие от поверхностных вод, являются долговременной депонирующей средой. Микроэлементный состав донных отложений отражает уровень техногенной нагрузки и является результатом многолетних процессов аккумуляции и трансформации химических элементов в водной экосистеме. В этой связи, для донных осадков малых рек была проведена оценка техногенного загрязнения, а именно определены геохимические ассоциации элементов-загрязнителей донных отложений и рассчитаны суммарные показатели загрязнения (Z_c). Формула геохимической ассоциации, характеризующая качественный, элементный состав и структуру геохимической аномалии, представляет собой упорядоченный по значениям K_c (K_c – коэффициент концентрации, $K_c = C_n / C_f$, где C_n и C_f – фактическое и фоновое содержание элемента в пробе) ранжированный ряд химических элементов [7]. Фоновые содержания элементов в донных осадках Ивановского водохранилища, используемые для расчетов, взяты из работы [8].

Полученные геохимические ассоциации элементов в донных отложениях малых рек приведены в табл. 4.

Одним из критериев техногенного загрязнения донных отложений является суммарный показатель загрязнения (Z_c), рассчитываемый для каждой точки отбора по формуле для n элементов: $Z_c = \sum K_{ci} - (n-1)$, где K_{ci} – коэффициент концентрации i -го элемента; n – число учитываемых элементов [9]. Суммарный показатель загрязнения Z_c представляет собой сумму коэффициентов концентрации K_c элементов, входящих в геохимическую ассоциацию, отражает аддитивное превышение фонового уровня

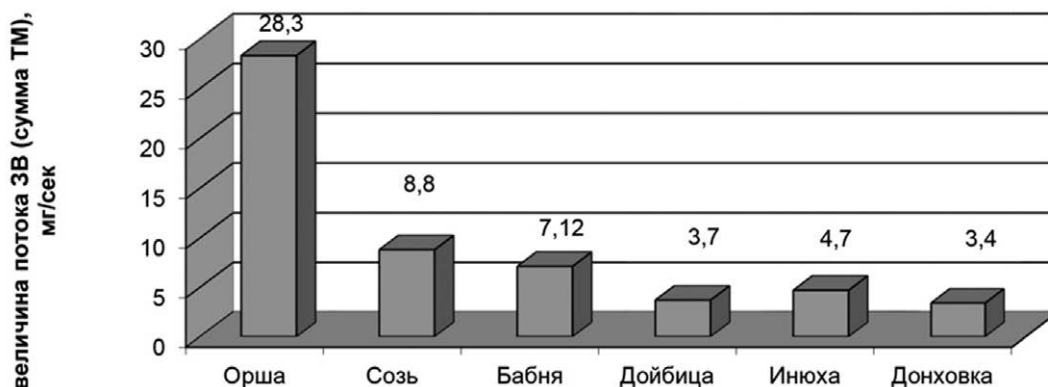


Рис. 2. Величина потока загрязняющих веществ (ТМ), поступающих с водой малых рек в Ивановское водохранилище.

Таблица 3

Содержание микроэлементов в донных осадках малых рек, мг/кг

Микроэлементы	B	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sr	Mo	Ag	Cd	Sn	Ba	Pb
р. Орша, устье заросли ВВР	4	11	0,1	260	11130	5	1	8	44	83	0,08	0,1	0,1	0,8	314	1
	24	23	1,8	424	31640	7	2	16	88	84	0,08	0,1	0,1	0,8	344	2
р. Созь, устье заросли ВВР	56	71	63,0	1304	52740	13	25	216	321	100	0,10	0,7	1,2	4,6	569	26
	20	15	0,1	282	9870	4	1	6	78	77	0,08	0,1	0,1	0,8	287	3
р. Бабенка, устье	65	85	74,0	1596	48400	15	34	252	282	99	0,20	0,9	1,0	6,0	570	26
р. Дойбица, устье заросли ВВР	53	55	31,0	608	45420	11	20	26	194	83	0,08	0,3	0,4	3,7	335	12
	24	22	0,1	327	14140	6	1	9	88	86	0,08	0,1	0,1	0,8	361	4
р. Инюха, устье	66	73	53,0	1035	48510	13	25	99	153	99	0,08	0,5	0,6	4,0	523	18
р. Донховка, устье заросли ВВР	97	103	108,0	1088	51210	17	37	215	238	165	0,90	0,6	1,0	19,0	543	84
	18	40	0,1	326	15680	5	1	3	191	120	0,08	0,1	0,1	4,0	576	29
Иваньковское водохранилище (среднее по створам)	11	17	0,1	475	9258	5	2,6	39	106	84	0,08	0,1	0,1	1,6	372	6

группой ассоциирующихся элементов и характеризует уровень техногенного загрязнения водотока [7]. Суммарные показатели загрязнения донных отложений малых рек водосбора Иваньковского водохранилища, рассчитанные для элементов, которые являются потенциальными загрязнителями водных экосистем (Cu, Pb, Zn, Mn, Ni, Mo, Cd, Co, Cr, V, Ag), приведены в табл. 5. По величине суммарного показателя загрязнения донных осадков самые высокие значения получены для донных осадков рек Созь, Бабенка, Донховка.

Реки Дойбица, Донховка, Инюха являются правыми притоками Иваньковского водохранилища и протекают по территориям крупных населенных пунктов (г. Конаково; пос. Завидово, Мокшино, Вараксино; пос. Терехово, Вахонино). В этих реках получены средние и высокие суммарные показатели загрязнения донных отложений. Проведенные ранее гидрохимические исследования этих рек показали, что в воде этих водотоков были отмечены высокие концентрации содержания минерального

растворенного фосфора и аммонийного азота, превышающие фоновые значения, что связано с поступлением промышленно-бытовых сточных вод с водосборной площади [1, 2].

Для рек Орша, Созь, Дойбица и Донховка было проведено сравнение содержания микроэлементов в донных осадках и воде устьевых зон и зарастающих высшей водной растительностью участков мелководий. Оказалось, что различие в гидродинамических условиях на разных участках Иваньковского водохранилища оказывает большое влияние на миграцию микроэлементов, поступающих с водами малых рек и их накопление в донных осадках устьевых зон.

В связи с геоморфологическими особенностями затопленной территории, на которой было создано Иваньковское водохранилище, водоем приобрел сложную конфигурацию и по своим гидрологическим характеристикам совмещает признаки рек и озер на разных его участках. На Иваньковском водохранилище выделяются три участка — Волжский, Шошинский и Иваньковский плесы. На верх-

Таблица 4

Геохимические ассоциации элементов в донных отложениях устьев малых рек

Место отбора проб	Порядок значений K_c химических элементов	
	3-10	1-3
р. Орша, устье заросли ВВР	-	Zn _{1,2}
	-	Ag _{2,5} -Zn _{2,4} -V _{1,5} -V _{1,5} -Co _{1,1}
р. Созь, устье заросли ВВР	Zn _{8,7} -Cu _{6,2} -V _{5,6} -Cd _{4,0}	Ni _{2,3} -Cr _{2,2} -Co _{2,1} -Mn _{1,9} -Pb _{1,3}
	-	Zn _{2,1} -V _{1,4}
р. Бабенка устье	Zn _{7,6} -Cu _{7,2} -V _{5,0} -Cd _{3,3} -Ni _{3,3}	Cr _{2,6} -Co _{2,4} -Mn _{2,3} -Pb _{1,4}
р. Дойбица, устье заросли ВВР	Zn _{5,2}	V _{3,4} -(Ni, Co) _{1,8} -Cd _{1,3} -Cr _{1,1}
	-	Zn _{2,4} -V _{1,5} -Co _{1,0}
р. Инюха, устье	Zn _{4,1}	Cu _{2,8} -V _{2,7} -Ni _{2,3} -Co _{2,1} -Cd _{2,0} -Cr _{1,8} -Mn _{1,5} -Pb _{1,3}
р. Донховка, устье заросли ВВР	Zn _{6,4} -Cu _{6,1} -Pb _{4,4} -V _{4,2} -Cr _{3,7} -(Cd,Co) _{3,3}	Co _{2,7} -Mn _{1,6}
	Zn _{5,6} -V _{3,4}	Pb _{1,5}

Таблица 5

Значения суммарного показателя загрязнения донных отложений малых рек

Место отбора	Z _c	Уровень техногенного загрязнения	Степень санитарно-токсикологической опасности [по 7]
Малые реки			
р. Орша, устье заросли ВВР	1,2	слабый	допустимая
	4,5	слабый	допустимая
р. Созь, устье заросли ВВР	42,9	высокий	опасная
	2,5	слабый	допустимая
р. Бабенка, устье	48,5	высокий	опасная
р. Дойбица, устье заросли ВВР	16,1	средний	умеренная
	2,9	слабый	допустимая
р. Инюха, устье	23,8	средний	умеренная
р. Донховка, устье заросли ВВР	41,9	высокий	опасная
	8,0	слабый	допустимая
Створы Иваньковского водохранилища			
Безбородово	4,0	слабый	допустимая
Мелково	3,0	слабый	допустимая
Корчева	3,4	слабый	допустимая

нем участке водохранилища в Волжском плесе, в который впадает р. Орша, сохраняется речной режим с сильным течением и интенсивным перемешиванием и слабым проявлением гидрологических градиентов. Наиболее мелководный Шошинский плес представляет собой широкое водное пространство с обширными прибрежными зарастающими мелководьями с застойными гидродинамическими условиями. Река Дойбица впадает в Шошинский плес. В приплотинный Иваньковский плес впадают реки Созь и Донховка. Это наиболее глубоководный участок водохранилища, который имеет широкую форму, постоянно находится в зоне подпора, и здесь гидрологический режим ближе к озерному.

Несмотря на небольшую площадь устьевых участков малых рек, они оказывают большое влияние на миграцию микроэлементов в системе малые притоки — Иваньковское водохранилище. В устьевых участках задерживаются почти все взвешенные вещества, в т.ч. значительное количество пелитового материала. Поведение микроэлементов на геохимическом барьере река — водохранилище определяется гидродинамическими факторами смешения водных масс. По своему гидрохимическому составу и окислительно-восстановительным условиям малые реки не слишком сильно отличаются от вод водохранилища. В устьевых участках малых рек Дойбица, Созь и Донховка, при впадении в Иваньковское водохранилище, происходит снижение скоростей течения за счет подпора водами водохранилища, формируются зоны седиментации и происходит осаждение взвешенного материала и коллоидов. Это влечет увеличение степени аккумуляции микроэлементов в донных осадках и снижение их

содержания в поверхностных водах. Поэтому донные осадки устьевых зон этих рек характеризуются более высокими концентрациями микроэлементов по сравнению с зарастающими мелководьями. За счет осаждения взвешенного материала с сорбированными на нем микроэлементами и депонирования микроэлементов в донных осадках, поверхностные воды устьевых зон содержат меньше количество микроэлементов по сравнению с зарастающими ВВР участками. В воде зарастающих мелководий рек Дойбица, Созь, Донховка получены более высокие содержания микроэлементов по сравнению с устьевыми участками. Это объясняется гидродинамическими условиями, не способствующими осаждению взвешенного материала из-за ветро-волновых прибрежных процессов с сильными колебаниями уровня воды, а также интенсификацией процессов взмучивания верхнего слоя донных отложений, приводящих к вымыванию мелкодисперсных фракций и снижению содержания микроэлементов в донных осадках.

В отличие от остальных рек, для донных осадков зарастающего ВВР мелководья р. Орши получены более высокие содержания элементов по сравнению с устьем. Здесь характерны более высокие скорости течения в устьевой зоне, поэтому через нее взвешенные вещества идут транзитом, без осаждения в составе донных осадков. В зарослях ВВР на р. Орша, где более спокойные гидродинамические условия, напротив, формируется зона седиментации, преобладает процесс осаждения взвешенных частиц и повышается содержание микроэлементов в донных осадках. Поэтому в воде устьевой зоны р. Орша и получены более высокие показатели содержания

большинства микроэлементов по сравнению с водой зарастающих ВВР участков. В зарослях ВВР на микроэлементы действует механический барьер, на котором задерживаются и осаждаются взвешенные органо-минеральные частицы с сорбированными на них химическими элементами, что приводит к накоплению микроэлементов в донных осадках. Другим барьером является биогеохимический, оказывающий большое влияние на изменение миграционной способности химических элементов, благодаря вовлечению их в биогеохимические циклы и участию в метаболических процессах, в результате чего происходит снижение их концентраций в природных водах. Т.е. подобные зарастающие мелководья малых рек являются своеобразными биологическими фильтрами. Здесь, в застойных гидродинамических условиях, формируются благоприятные условия для длительного биогеохимического взаимодействия растительности со средой обитания, извлечения микроэлементов из природных вод и вовлечения их в биогеохимические циклы, способствуя, таким образом, снижению концентраций в природных водах.

Таким образом, выявленные особенности распределения микроэлементов в устьевых зонах и зарастающих мелководьях, являются результатом совместного действия механических, геохимических и биогеохимических барьеров, регулирующих миграционные потоки элементов.

Исследование высшей водной растительности

Рассмотрение биогеохимических особенностей накопления микроэлементов высшей водной растительностью различных экологических групп являлось отдельным направлением исследований. Средний микроэлементный состав основных видов высших водных растений малых притоков Иваньковского водохранилища представлен в *табл. 6*. Полученные содержания микроэлементов для растительности малых притоков Иваньковского водохранилища близки к полученным ранее данным для соответствующих видов растений Иваньковского водохранилища [10, 11]. Как видно, различие в химическом составе растений из различных экологических групп состоит в более высоких содержаниях всех исследованных микроэлементов в группе погруженных растений (гидрофитов). Самые высокие содержания большинства микроэлементов из группы тяжелых металлов (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Ag, Sn, Pb, Fe, Mn) были получены для роголистника темно-зеленого из р. Дойбица и рдеста пронзеннолистного из р. Донховка. Для этих рек характерны более высокие содержания микроэлементов в поверхностных водах, что связано

с поступлением сточных вод промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

Заключение

Проведенные исследования показали, что концентрации микроэлементов в воде малых притоков Иваньковского водохранилища многократно превышают соответствующие значения для его створов, что обусловлено значительной ролью природных и антропогенных факторов в формировании состава гидрохимического стока с территории их водосборов. Ландшафтные особенности территории и режим формирования водного стока с заболоченных и торфяных массивов площадей водосборов рек Орша, Бабенка, Созь являются главными факторами формирования гидрохимического состава малых рек, особенностью которого является высокое содержание органического вещества и микроэлементов в воде левых притоков. Среди правых притоков наибольшую антропогенную нагрузку испытывают реки Донховка и Дойбица. Высокие значения гидрохимических показателей — индикаторов техногенного загрязнения и повышенные содержания микроэлементов в поверхностных водах этих рек связаны с поступлением загрязняющих веществ с территории водосборов и сбросом сточных вод промышленных предприятий. Расчет потока загрязняющих веществ показал, что самое большое количество тяжелых металлов в исследуемый период поступало в Иваньковское водохранилище с водой рек Орша, Созь и Бабенка.

Исследование иловых вод показало наличие значительных градиентов концентраций большинства микроэлементов между иловыми и поверхностными водами, что свидетельствует о потенциальной опасности вторичного загрязнения поверхностных вод в результате изменения гидродинамических и физико-химических условий в малых притоках.

Донные осадки устьевых зон малых рек также содержат более высокие концентрации микроэлементов по сравнению с донными осадками основных створов водохранилища. Самые высокие показатели суммарного загрязнения донных осадков, характеризующие результат многолетних процессов аккумуляции и трансформации микроэлементов в устьевых зонах, были получены для рек Донховка, Бабенка и Созь. Для донных осадков малых рек были определены геохимические ассоциации, характеризующие качественный, элементный состав и структуру геохимических аномалий, которые сформировались в донных осадках. На миграционные процессы, которые приводят к формированию аномалий в донных отложениях, основное влияние оказывают гидро-

Таблица 6

Содержание элементов в высшей водной растительности малых рек

Концентрация на сухое вещество, мг/кг																			
Макрофиты	зольность %	B	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Mo	Ag	Cd	Sn	Ba	Pb	
Группа водно-болотных растений																			
Манник вод., р. Орша	7	4	0,1	0,4	57	171	0,03	0,2	1,1	13	1,6	4	0,02	0,01	0,01	0,1	4	0,2	
Камыш оз., р. Бабенка	5	4	0,1	1,0	100	149	0,01	0,1	1,2	10	1,1	2	0,06	0,05	0,02	0,1	8	0,3	
Манник вод., р. Донховка	12	4	0,2	2,0	63	151	0,01	1,1	0,8	25	3,2	0,9	0,16	0,01	0,01	0,1	5	0,2	
Средняя концентрация для группы	4	0,1	1	73	157	0,01	0,4	1	16	2	2	0,1	0,03	0,01	0,1	6	0,2		
Группа полупогруженных растений																			
Кубышка желт., р. Орша	10	8	0,3	0,5	192	226	0,01	0,1	1,1	3	2,2	19	0,01	0,06	0,01	0,1	24	0,2	
Водяной орех, р. Созь	12	15	0,3	0,8	213	654	0,10	0,3	3,5	13	2,7	53	0,01	0,01	0,01	0,2	8	0,4	
Кубышка желт., р. Созь	10	7	0,8	0,5	94	256	0,01	0,1	0,6	1	2,3	24	0,01	0,01	0,01	0,1	52	0,3	
Средняя концентрация для группы	10	0,5	0,6	166	378	0,05	0,1	1,7	5	2,4	32	0,01	0,03	0,01	0,1	28	0,3		
Группа погруженных в воду растений																			
Рдест пронз., р. Орша	24	12	0,7	1,3	920	1454	1,00	0,8	1,9	25	5,6	218	0,06	0,01	0,06	0,3	50	0,7	
Рдест пронз., р. Созь	21	97	0,9	1,1	717	1943	0,50	1,2	9,3	18	5	53	0,08	0,04	0,04	0,3	20	1,1	
Рдест пронз., р. Бабенка	18	9	0,3	1,4	478	1770	0,50	0,8	2,4	7	4,1	147	0,08	0,01	0,08	0,2	39	0,9	
Роголистник тем-зел., р. Дойбица	26	17	0,5	3,4	3070	6168	5,10	2,8	11,3	94	4,7	57	0,31	0,52	0,06	0,7	51	2,9	
Рдест пронз., р. Донховка	17	10	0,4	2,5	651	2380	0,80	1,5	4,3	46	3,9	95	0,04	0,03	0,03	0,2	24	2,9	
Средняя концентрация для группы	29	0,6	1,9	1167	2743	1,60	1,4	5,8	38	4,6	114	0,11	0,11	0,05	0,3	37	1,7		

динамические условия в местах впадения рек в водохранилище. Так, в устьевых зонах малых рек Дойбица, Созь, Донховка, впадающих в Ивановское водохранилище в нижней части водохранилища, представленной Шошинским и Ивановским плесами, которые характеризуются ослаблением течения и застойными гидродинамическими условиями, формируются хорошие условия для седиментации и активно идут процессы накопления микроэлементов в составе донных осадков. На верхнем участке водохранилища в Волжском плесе, где сохраняется речной гидродинамический режим, в устье р. Орши в условиях высокой скорости течения формируется транзитный поток и не происходит осаждения взвешенного материала и активного накопления микроэлементов в донных осадках.

Зарастающие ВВР участки малых рек, на которых формируются специфические гидродинамические и гидрохимические условия, в период вегетации являются своеобразными биофильтрами, влияющими на миграционные потоки микроэлементов и способствующими снижению их содержания в природных водах. Высшие водные растения из экологической группы погруженных растений (гидрофитов) наиболее активно вовлекают в биогеохимические процессы и накапливают тяжелые металлы, поступающие с загрязненными водами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 16-05-00542).

Литература:

1. Григорьева И.Л. Геоэкология Ивановского водохранилища и его водосбора / И.Л. Григорьева, И.В. Ланцова, Г.В. Тулякова. Конаково: Издательский дом «Булат», 2000. 248 с.
2. Чекмарева Е.А. Влияние органических и биогенных веществ на качество воды малых рек (на примере притоков Ивановского водохранилища) // V Международная конференция молодых ученых «Водные ресурсы: изучение и управление (лимнологическая школа-практика)»: Мате-

- риалы конференции. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2016. Т.1, С. 292-298.
3. Алексеевский Н.И. Малые реки Волжского бассейна / Н.И. Алексеевский, В.М. Евстигнеев, Н.И. Коронкевич и др. М.: Моск.ун-т, 1998. 233 с.
4. Сафронова Н.С. Атомно-эмиссионное определение редкоземельных и редких элементов в эколого-геологических объектах с использованием анализатора МАЭС / Н.С. Сафронова, Е.С. Гришанцева, В.Г. Гаранин, Л.П. Федорова // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. Т. 83. №1. ч. II. С. 57-63.

5. Сафронова Н.С. Использование анализатора МАЭС для атомно-эмиссионного спектрометрического определения редкоземельных и редких элементов в геохимических объектах Ивановского водохранилища / Н.С. Сафронова, Е.С. Гришанцева, Л.П. Федорова // Вода: химия и экология. 2016. №11. С. 72-82.
6. Дашенко Ю.С. Балансовая оценка выноса фосфора из донных отложений Можайского водохранилища // Водные ресурсы. 1998. Т.25. №4. С. 507-509.
7. Янин Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). М.: ИМГРЭ, 2002. 52 с.
8. Шепелева Е.С. Эколого-геохимические исследования поведения тяжелых металлов в водных и наземных экосистемах Ивановского водохранилища. Автореферат дис. канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 2004. 30 с.
9. Косов В.И. Экология Верхневолжской водной системы / В.И. Косов, В.В. Левинский, И.В. Косова. Тверь: Издательство Булат, 2003. 180 с.
10. Гришанцева Е.С. Распределение микроэлементов в высшей водной растительности Ивановского водохранилища / Е.С. Гришанцева, Н.С. Сафронова, Н.В. Кирпичникова, Л.П. Федорова // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2010. №3, С. 223-231.
11. Гришанцева Е.С. Биогеохимические особенности накопления редкоземельных элементов макрофитами Ивановского водохранилища / Е.С. Гришанцева, А.Ю. Бычков, С.А. Шурупова, Л.П. Федорова // Труды Карельского научного центра РАН. 2017. №3. С. 55-64.