

**ПОКАЗАТЕЛИ НАКОПЛЕНИЯ И МИГРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В БАССЕЙНЕ РАВНИННОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Александрова Асель Биляловна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Российская Федерация, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, e-mail: adabl@mail.ru

Иванов Дмитрий Владимирович, кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Российская Федерация, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, e-mail: water-rf@mail.ru

Маланин Виталий Викторович, научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Российская Федерация, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, e-mail: wizzle13@yandex.ru

Шурмина Надежда Васильевна, научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Российская Федерация, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, e-mail: shurmina2015@yandex.ru

Галиахметова Люция Камилевна, научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Российская Федерация, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, e-mail: lyuciya-mustafina@yandex.ru

Богданова Ольга Анатольевна, научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Российская Федерация, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28, e-mail: bogdanova-olga@yandex.ru

Установлены показатели абсолютного содержания и подвижности тяжелых металлов (Cd, Pb, Co, Cu, Ni, Zn, Cr, Mn) и Fe в почвах и донных отложениях бассейна Нижнекамского водохранилища в пределах Республики Татарстан. Концентрации кислоторастворимых и подвижных форм металлов в исследуемых средах в основном находились в пределах регионального геохимического фона. В донных отложениях рек – притоков водохранилища отмечается рост показателей подвижности меди, марганца и железа, что отражается на росте содержания их растворенных форм в воде до значений, превышающих нормативы предельно допустимых концентраций для водоемов рыбохозяйственного значения. Интенсивность водной миграции металлов в бассейне Нижнекамского водохранилища оценивается как сильная для Cd и Co, средняя для Cu, Ni, Zn, Cr и слабая для Pb, Mn, Fe.

Ключевые слова: тяжелые металлы, геохимический фон, загрязнение, подвижность, почвы, донные отложения, поверхностные воды, интенсивность водной миграции, Нижнекамское водохранилище

**INDICATORS OF ACCUMULATION AND MIGRATION
OF HEAVY METALS IN THE PLAIN RESERVOIR BASIN**

Alexandrova Asel B., Ph. D. in Biology, Senior Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28 Daur'skaya St., Kazan, 420087, Russian Federation, e-mail: adabl@mail.ru

Ivanov Dmitrii V., Ph. D. in Biology, Deputy Director, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28 Daur'skaya St., Kazan, 420087, Russian Federation, e-mail: water-rf@mail.ru

Malanin Vitalii V., Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28 Daur'skaya st., Kazan, 420087, Russian Federation, e-mail: wizzle13@yandex.ru

Shurmina Nadezhda V., Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28 Dauraskaya st., Kazan, 420087, Russian Federation, e-mail: shurmina2015@yandex.ru

Galiachmetova Liutsiia K., Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28 Dauraskaya st., Kazan, 420087, Russian Federation, e-mail: lyuciya-mustafina@yandex.ru

Bogdanova Olga A., Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28 Dauraskaya st., Kazan, 420087, Russian Federation, e-mail: bogdanova-olga@yandex.ru

Indicators of the absolute content and mobility of heavy metals (Cd, Pb, Co, Cu, Ni, Zn, Cr, Mn) and Fe in the soils and sediments of the basin of the Nizhnekamsk reservoir within the Republic of Tatarstan have been established. The concentrations of acid-soluble and mobile forms of metals were mainly within the regional geochemical background. In rivers sediments an increase in the mobility of copper, manganese and iron is noted, which is reflected in an increase in the content of their dissolved forms in water to values, that exceed the permissible concentrations. The intensity of water migration of metals in the basin of the Nizhnekamsk reservoir is assessed as «strong» for Cd and Co, «medium» - for Cu, Ni, Zn, Cr and «weak» - for Pb, Mn, Fe.

Keywords: heavy metals, geochemical background, pollution, mobility, soils, bottom sediments, surface waters, intensity of water migration, Nizhnekamskoe reservoir

Тяжелые металлы (ТМ) входят в группу приоритетных загрязняющих веществ, подлежащих аналитическому контролю в системе мониторинга почв, поверхностных вод и донных отложений в РФ. Поступление металлов в водные объекты происходит из природных и антропогенных источников, соотношение которых во многом определяет уровень концентраций их растворенных и взвешенных миграционных форм, а также показатели накопления в донных отложениях и гидробионтах.

Ионный состав поверхностных вод на фоновых территориях формируется преимущественно в результате процессов выщелачивания из горных пород и почв бассейна. В зависимости от геохимической специализации питающих геологических провинций в границах речных бассейнов формируются различные гидрохимические типы вод, отличающиеся макро- и микроэлементным составом [6]. Сопряженное геохимическое опробование различных природных сред позволяет выявлять участки земной поверхности с относительным накоплением/рассеянием ТМ. Общность геохимических свойств металлов находит свое отражение в однотипном характере их водной миграции и депонирования в донных отложениях.

Изучение характера взаимодействия природных вод с литосферой с позиций геохимии ландшафта имеет большое значение в контексте решения различных практических природоохранных проблем, касающихся вопросов экологического нормирования и эколого-аналитического контроля качества вод. В их числе важное место занимает проблема оценки содержания ТМ в поверхностных водах, когда концентрации их растворенных форм в водных объектах тех или иных регионов и геохимических провинций превышают предельно допустимые показатели.

Как правило, обнаруживаемые по результатам мониторинга поверхностных водных объектов высокие концентрации таких ТМ как Cu, Zn, Mn не являются следствием загрязнения, а обусловлены несовершенством федеральной нормативной базы, устанавливающей пороговые значения загрязняющих веществ в воде ниже региональных фоновых уровней, без учета сложившейся гидрогеохимической специализации территорий. Все это в конечном итоге приводит к необоснованному занижению класса качества вод.

Цель работы – изучить геохимические особенности распределения и миграции ТМ в природных средах в бассейне Нижнекамского водохранилища в пределах Республики Татарстан.

Материалы и методы исследования. Нижнекамское водохранилище (НВ) – крупный искусственный водоём, замыкающее звено камского каскада водохранилищ.

Площадь водосбора 366 тыс. км². Водохранилище расположено в лесостепной зоне и охватывает территорию Республики Татарстан, Удмуртской Республики и Республики Башкортостан. Качество воды в НВ соответствует классу «загрязнённая», что связано с влиянием на водный объект многокомпонентных сточных вод населённых пунктов, включая крупные промышленные центры, а также диффузного загрязнения аграрно освоенного бассейна.

По результатам почвенно-геохимического опробования в границах 6 водосборных бассейнов рек – притоков водохранилища было отобрано 290 проб гумусовых (А1 и Апах) горизонтов зональных почв. Пробы донных отложений отбирали на различных участках верхнего, среднего и нижнего течения рек из поверхностного (0–10 см) слоя при помощи дночерпателя. В пробах почв и донных отложений по общепринятым методам определяли гранулометрический состав, содержание органического вещества, кислоторастворимых (5М HNO₃) и подвижных (ацетатно-аммонийный буфер, pH = 4,8) форм металлов Cd, Pb, Co, Cu, Ni, Zn, Cr, Mn, Fe. Величину подвижности ТМ (%) рассчитывали как отношение концентраций их подвижных форм к общему содержанию.

Гидрохимическое опробование проводили в течение года ежемесячно на 11 створах, расположенных в нижнем течении рек: Мензеля с притоками Ургуда и Иганя, Ик, Сюнь, Шильна, Шукралинка с притоком Мелекеска, Иж с притоками Варзи и Варзинка. Всего отобрано и проанализировано 211 проб воды из поверхностного (0,5 м) горизонта. В воде определяли величину общей минерализации и содержание растворенных форм ТМ после фильтрации на мембранном фильтре с диаметром пор 0,45 мкм.

Концентрацию ТМ в растворе определяли атомно-абсорбционным методом на приборе PerkinElmer AAnalyst 400.

Статистическая обработка данных выполнена с использованием программы Statistica 6.0. Среднее содержание ТМ оценивали по медианному значению.

Результаты и их обсуждение. Рассматривая пространственное распределение ТМ в почвах бассейна НВ, следует отметить, что среднее содержание их валовых и подвижных форм пространственно дифференцировано, но находится в пределах регионального фона (табл. 1). На левобережной части р. Камы обнаруживаются незначительные отклонения от среднего фонового содержания в почвах Ni, которые обусловлены литологическими особенностями территории и ранее отмечались в литературе [6].

Одним из главных факторов латеральной дифференциации содержания ТМ в почвенном покрове являются гранулометрический состав, который в почвах бассейна НВ варьирует от легко- до тяжелосуглинистого, а также содержание гумуса (табл. 2). По мере роста доли тонкодисперсных частиц и органического вещества отмечено увеличение общего содержания в почвах всех ТМ ($r=0,2\div0,6$, $p < 0,05$). Их подвижность, напротив, снижается ($r=-0,2\div-0,3$, $p < 0,05$) благодаря прочному удерживанию в составе почвенно-поглощающего комплекса.

Распределение гумуса в полной мере подчиняется типологической принадлежности почв и литологии почвообразующих отложений: минимальное его накопление (3–4 %) отмечено в разновидностях легко- и среднесуглинистых дерново-подзолистых и светло-серых лесных почв бассейна р. Иж, в тяжелых лесостепных почвах Закамья оно достигает 5–8 % (табл. 2). Почвы, богатые органическим веществом (серые и темно-серые лесные, черноземы), отличаются повышенные фоновые концентрации кислоторастворимых и подвижных форм Cd, Pb, Co, Cu и Zn.

Существенно расширяет картину распределения ТМ в сопряженных компонентах геохимических ландшафтов бассейна НВ информация об относительной их подвижности в почвах, которая косвенно характеризует потенциал их миграции в сопредельные среды (табл. 1). По средней величине подвижности в почвах построен убывающий ряд металлов:

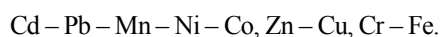


Таблица 1

Содержание ТМ в почвах бассейна НВ, мг/кг

ТМ	Левобережные притоки						Право- бережные притоки	Бассейн водохра- нилища	Фон [7]
	Сюнь	Ик	Мензеля, Ургуда, Иганя	Шукра- линка, Мелекес- ка	Шильна	Все притоки	Иж, Вар- зи, Вар- зинка		
Кислоторастворимые формы									
Cd	0,34	0,32	0,34	0,40	0,54	0,35	0,54	0,36	0,5
Pb	10,4	9,9	11,6	13,8	15,5	10,8	12,7	10,9	12,0
Co	11,0	10,0	12,2	11,0	7,5	10,3	15,7	10,5	12,0
Cu	23,2	25,7	25,9	25,8	27,6	25,5	13,3	24,4	22,0
Ni	54,7	62,0	57,3	52,1	42,8	57,4	29,5	54,5	45,0
Zn	42,7	42,2	43,3	47,6	45,2	42,9	46,3	43,2	50,0
Cr	32,9	35,4	38,6	30,2	27,4	34,2	46,1	35,5	32,0
Mn	805,1	786,3	1041,2	943,2	586,7	806,6	569,2	764,9	720,0
Fe	18052,4	17266,5	20101,7	16433,7	15589,9	17494,4	16221,8	17439,9	–
Подвижные формы									
Cd	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,06	0,06	0,06	0,1
Pb	0,71	0,69	0,73	0,80	1,00	0,73	0,98	0,76	1,0
Co	0,12	0,12	0,11	0,18	0,08	0,11	0,07	0,11	0,1
Cu	0,10	0,13	0,10	0,12	0,13	0,12	0,25	0,13	0,2
Ni	0,82	0,65	0,73	0,98	0,62	0,69	0,84	0,71	1,0
Zn	0,34	0,23	0,30	0,75	1,65	0,31	2,28	0,35	1,0
Cr	0,14	0,18	0,17	0,31	0,31	0,19	0,11	0,17	0,3
Mn	29,8	38,8	45,5	53,9	46,1	38,9	22,3	36,4	55,0
Fe	3,2	1,9	3,0	3,1	4,2	2,2	6,1	2,5	–
Подвижность, %									
Cd	14,0	18,0	18,0	20,0	19,5	18,0	15,0	17,0	–
Pb	6,0	7,0	6,0	8,0	8,0	7,0	8,0	7,0	–
Co	1,2	1,2	0,9	1,8	1,2	1,1	0,5	1,0	–
Cu	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,4	2,1	0,5	–
Ni	1,6	1,0	1,3	2,1	1,5	1,2	3,2	1,3	–
Zn	0,8	0,6	0,7	1,4	4,2	0,8	5,0	0,9	–
Cr	0,5	0,5	0,5	0,9	1,4	0,6	0,2	0,5	–
Mn	3,5	4,7	4,2	3,4	8,1	4,6	4,1	4,5	–
Fe	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,04	0,01	–

Примечание: жирным шрифтом выделены статистически значимые различия (критерий Манна – Уитни, $p < 0,05$).

Сравнение концентраций исследованных элементов в водах рек бассейна НВ за весь период наблюдений с предельно допустимыми концентрациями показало превышения нормативов по Cd, Co, Mn, Fe (до 1,5–3 ПДК) в 25 % проанализированных проб, Ni и Zn (2–10 ПДК) в 55% проб, Cu (2–15 ПДК) в 95 % проб, что в равной мере может быть связано как с антропогенным загрязнением, так и с природным геохимическим фоном отдельных элементов. Наиболее значительные и систематические отклонения от нормативов были характерны для меди, цинка и никеля, что наводит на мысль о природном характере повышенных концентраций этих элементов в речных водах (табл. 2).

Одним из показателей, характеризующих миграционную активность элементов в ландшафтах, является коэффициент водной миграции (K_x), который показывает отношение количества элемента в минеральном остатке воды к его содержанию в горных породах и/или в почвах, дренируемых этими водами. Для характеристики K_x была использована градация А.И. Перельмана [5]: очень сильная миграция ($n \cdot 10$ –

n·100); сильная миграция (n – n·10); средняя миграция (n – n·0.1); слабая и очень слабая миграция (n·0,01 и менее).

По величине коэффициента к элементам сильной миграции в реках бассейна НВ следует отнести Cd, Co, средней миграции – Cu, Ni, Zn, Cr, слабой миграции – Pb, Mn, Fe (табл. 3). Высокие значения показателя водной миграции Cd в речных водах соответствуют данным о повышенной миграционной активности этого элемента в речных водах мира [2; 3].

Таблица 2

Концентрации растворенных форм ТМ в реках бассейна НВ, мкг/л

ТМ	Левобережные притоки								Правобережные притоки				Все реки бассейна	ПДК _{рв}
	Сюнь	Ик	Уругда	Иганя	Мензеля	Шукралинка	Мелекесса	Шилья	Все притоки	Иж	Варзика	Варзи	Все притоки	
Cd	0,2	0,3	0,3	0,5	2,4	0,1	0,2	0,4	0,3	0,7	0,3	0,3	0,3	5,0
Pb	0,7	0,4	0,9	0,4	0,6	0,6	1,0	0,9	0,6	0,7	0,5	0,6	0,6	6,0
Co	14,9	15,6	10,9	13,2	11,9	13,6	15,3	16,0	14,5	14,1	13,3	15,0	14,0	10,0
Cu	6,5	7,0	7,0	7,0	6,7	6,4	6,3	7,0	6,7	5,4	6,3	5,3	5,5	1,0
Ni	16,5	24,8	20,0	21,7	21,4	22,1	20,3	19,9	21,5	20,5	21,8	16,9	19,8	10,0
Zn	20,1	20,3	23,4	34,0	11,3	15,9	41,2	16,9	20,0	15,6	22,8	16,0	19,2	10,0
Cr	6,6	6,5	10,0	3,1	9,0	6,0	9,0	3,0	6,3	5,0	1,4	2,6	1,5	20,0
Mn	7,0	12,1	9,3	11,0	9,9	15,0	11,3	29,4	11,5	12,2	19,2	10,0	12,1	10,0
Fe	103,1	106,2	91,0	99,3	89,0	88,4	94,5	94,8	95,7	81,7	88,9	66,5	79,5	100,0

Таблица 3

Коэффициенты водной миграции ТМ и величина минерализации (М, мг/л) в реках бассейна НВ

ТМ	Левобережные притоки								Правобережные притоки			Все реки бассейна	K _д в реках мира [2]
	Сюнь	Ик	Уругда	Иганя	Мензеля	Шукралинка	Мелекесса	Шилья	Иж	Варзика	Варзи		
Cd	0,69	1,13	1,22	2,17	10,98	0,54	1,09	1,43	2,74	0,89	0,88	1,41	8,50
Pb	0,10	0,05	0,11	0,06	0,08	0,09	0,13	0,12	0,12	0,06	0,09	0,09	0,52
Co	2,12	1,89	1,29	1,77	1,51	2,69	2,53	4,46	2,03	1,42	1,77	2,33	0,34
Cu	0,43	0,33	0,39	0,44	0,40	0,53	0,44	0,53	0,91	0,79	0,73	0,44	2,64
Ni	0,47	0,48	0,51	0,62	0,58	0,92	0,71	0,97	1,57	1,24	1,06	0,63	0,65
Zn	0,73	0,58	0,78	1,29	0,41	0,72	1,57	0,78	0,76	0,83	0,64	0,78	3,27
Cr	0,31	0,22	0,38	0,13	0,36	0,43	0,54	0,23	0,24	0,05	0,11	0,24	0,24
Mn	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,10	0,05	0,06	0,03	0,03	0,12
Fe	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	–
M	647,0	827,0	690,9	609,4	643,0	461,0	551,0	478,0	443,0	537,0	594,9	593,0	–

Особенностью рек бассейна НВ является высокая интенсивность водной миграции Co. Кобальт достаточно легко выщелачивается из распространенных на водосборной территории кислых почв, в результате чего образуется определенный дефицит этого элемента для растений. Кроме того, на подвижность и, соответственно, на способность к выносу из пределов почвенного профиля Co влияют накапливающиеся в иллювиальных горизонтах зональных почв гидрооксиды железа и марганца, из-за сорбции которыми его миграция в почвах может быть затруднена [1].

Никель, имеющий много общих геохимических свойств с кобальтом, при этом характеризуется сильной миграцией только в правобережных притоках, тогда как левобережные притоки Камы отличаются средние показатели миграционной активности ($K_x=0,47-0,97$) (табл. 3).

Еще две реки Мелекеска и Иганя на фоне других выделяются ростом показателя водной миграции цинка: его «сильная» миграция в водах этих притоков напрямую связана с антропогенным фактором. Мелекеска служит приемником сточных вод г. Набережные Челны. Река Иганя, как показывают результаты гидрохимического мониторинга, находится под воздействием диффузного стока с аграрно освоенных территорий, а в ее водоохранной зоне располагается множество животноводческих ферм и лагерей крупного рогатого скота.

Для более полного понимания картины распределения металлов в бассейне НВ были изучены показатели накопления их кислоторастворимых и подвижных форм в составе донных отложений.

Гранулометрический состав донных отложений рек отличается разнообразием, а осадки в зависимости от гидрологических и морфометрических особенностей притоков и отдельных их участков, где проводилось опробование, представлены песками, песчанистыми и глинистыми илами с содержанием органического вещества от 4 до 15 %.

Донные отложения большей части исследуемых рек в целом характеризуются фоновым состоянием и по содержанию ТМ могут оцениваться как «незагрязненные» (табл. 4). В р. Мелекеске были выявлены превышения региональных нормативов содержания кислоторастворимых форм цинка и марганца. Более существенными оказались отклонения от региональных нормативов фонового содержания подвижных форм этих элементов: Zn – в 3,8 раза, Mn – в 2,9 раза.

В донных отложениях рек по сравнению с почвами существенно возрастает подвижность Cd, Pb, Co, Cu, Ni, Cr в 2–5 раз, Zn, Mn – в 10 раз, Fe в 100 раз (табл. 1, 4). Это обусловлено изменением спектра физико-химических условий, в которых осуществляется миграция химических элементов в водной среде, ростом растворимости металлов, образованием новых, геохимически активных их форм с органическим веществом природных вод, оксидами и гидроксидами железа и марганца. Таким образом, речные отложения следует рассматривать как основной источник вторичного загрязнения поверхностных вод и одну из причин наблюдаемых превышений предельно-допустимых концентраций таких металлов как железо, марганец и цинк в воде.

Таблица 4

Содержание ТМ в донных отложениях рек бассейна НВ, мг/кг

ТМ	Левобережные притоки							Право- бережные притоки	Все реки бассейна	Фон [8]
	Ик	Мензеля	Ургуда	Иганя	Шукралинка	Мелекеска	Все притоки	Иж, Варзи, Вар- зинка		
Кислоторастворимые формы										
Cd	0,43	0,23	0,26	0,20	0,21	0,23	0,26	0,42	0,28	0,64
Pb	8,0	9,4	10,0	5,3	10,1	13,1	10,5	11,1	10,8	14,4
Co	7,9	9,1	8,2	5,9	7,5	13,1	9,8	9,9	9,9	11,5
Cu	15,0	35,1	18,0	14,0	29,6	28,2	27,7	33,0	27,9	27,0
Ni	41,8	64,0	39,8	31,7	49,4	56,3	49,4	52,5	51,0	50,2
Zn	45,0	53,5	28,9	22,1	48,1	114,1	57,2	56,3	56,7	66,5
Cr	25,5	25,4	16,6	14,3	14,9	18,9	18,9	34,6	20,3	38,6
Mn	435,3	780,3	767,1	520,4	705,6	1345,4	879,2	1240,3	947,2	737,8
Fe	13262,5	13897,2	10488,2	6661,8	11157,8	21719,1	17646,7	15079,4	16363,0	–

Подвижные формы										
Cd	0,13	0,12	0,01	0,03	0,08	0,15	0,10	0,21	0,14	0,06
Pb	2,4	2,8	1,8	2,0	3,3	5,0	3,3	1,8	2,9	0,76
Co	0,3	0,4	0,4	0,1	0,3	0,8	0,4	0,2	0,4	0,11
Cu	0,9	1,0	0,9	0,8	0,9	1,4	1,2	1,9	1,2	0,13
Ni	1,5	2,0	1,3	0,3	1,5	1,6	1,5	2,5	1,5	0,71
Zn	1,6	2,2	2,2	0,5	3,9	22,9	8,0	2,5	6,3	0,35
Cr	0,6	0,3	1,1	0,7	1,0	0,6	0,6	0,7	0,6	0,17
Mn	174,7	201,3	202,8	198,1	185,9	889,3	388,6	186,2	381,0	36,4
Fe	21,5	50,6	97,7	50,0	47,5	407,5	221,0	117,2	206,4	2,5
Подвижность, %										
Cd	42,3	51,9	0,4	12,4	37,7	41,8	38,8	46,5	38,8	
Pb	32,6	29,8	18,2	38,2	33,1	31,4	31,0	15,1	30,5	
Co	3,9	4,2	5,4	2,1	4,1	6,3	5,0	2,2	4,7	
Cu	4,9	2,8	5,0	5,4	3,0	4,7	4,7	5,1	4,7	
Ni	2,8	3,3	3,2	1,1	3,0	3,1	3,1	3,7	3,1	
Zn	4,1	4,2	7,6	2,5	8,1	19,3	11,3	4,0	9,8	
Cr	3,8	1,3	6,6	4,8	6,6	2,9	3,0	1,8	2,8	
Mn	38,9	26,8	26,4	38,1	26,4	69,1	49,1	16,5	46,3	
Fe	0,3	0,4	0,9	0,8	0,4	2,0	1,2	0,6	0,9	

Заключение. Результаты геохимического опробования территории водосборных бассейнов притоков НВ в пределах Республики Татарстан показали, что концентрации кислоторастворимых и подвижных форм ТМ в почвах значительно варьируют в зависимости от характера и выраженности зональных процессов почвообразования, однако находятся в пределах установленных региональных фоновых значений [12]. Подтверждена характерная для закамской части республики природная геохимическая аномалия никеля, накопление которого в гумусовых горизонтах почв обусловлено его присутствием в повышенных, относительно среднего регионального фона, концентрациях в подстилающих отложениях. Почвы бассейна характеризовались типичными для фоновых территорий показателями подвижности металлов, максимальные значения которой (17 %) отмечались у кадмия.

Анализ геохимических данных, характеризующих общее содержание и формы нахождения металлов в воде и донных отложениях рек – притоков водохранилища, свидетельствует о существенных изменениях показателей накопления и миграционной активности исследуемых элементов в аквальных системах.

В донных отложениях рек в результате изменения физико-химических условий среды по сравнению с почвами кратно возрастают абсолютные концентрации подвижных форм металлов, особенно меди, марганца (в 10 раз) и железа (в 82 раза), а также величина подвижности, что отражается на показателях миграции ТМ в речных водах. Содержание металлов в исследованных донных отложениях превышает региональный фон на участках течения, расположенных в границах урбанизированных территорий и принимающих сточные воды муниципальных, промышленных предприятий и ливневой канализации.

Интенсивность миграции ТМ в реках бассейна НВ изменялась от слабой (Pb, Mn, Fe) до сильной (Cd, Co); ряд металлов – Cu, Ni, Zn, Cr – характеризовался средним значением коэффициента водной миграции. При этом концентрации растворенных форм Cd, Co, Mn, Ni, Zn и Cu превышали нормативные значения для водоемов рыбохозяйственного значения в 1,5–15 раз. В значительной мере это обусловлено природным фактором, однако нельзя полностью исключать и антропогенные источники их поступления, в том числе диффузный сток с территории освоенных в сельскохозяйственном отношении бассейнов рек.

Список литературы

1. Водяницкий Ю.Н. Об опасных тяжелых металлах/металлоидах в почвах / Ю.Н. Водяницкий // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2011. – Вып. 68. – С. 56-81.
2. Добровольский В.В. География микроэлементов: Глобальное рассеяние / В.В. Добровольский. – М.: Мысль, 1983. – 272 с.
3. Григорьян Б.Р. Региональные аспекты загрязнения среды тяжелыми металлами и здоровье населения / Б.Р. Григорьян, С.Н. Калимуллина, А.М. Хакимова // Казанский медицинский журнал. – 1994. – Т. 75. – №1. – С. 38-44.
4. Линник П.Н. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах / П.Н. Линник, Б.И. Набиванец. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 270 с.
5. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман. – М.: Географгиз, 1961. – 392 с.
6. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 610 с.
7. Региональные нормативы «Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах Республики Татарстан». Утв. приказом Министерства экологии и природных ресурсов РТ от 30.12.2015 №1134-к.
8. Региональные нормативы «Фоновое содержание тяжелых металлов в донных отложениях поверхностных водных объектов Республики Татарстан». Утв. приказом Министерства экологии и природных ресурсов РТ от 27.03.2019 г. №316-п.

References

1. Vodjanickij Ju.N. Ob opasnyh tjazhelyh metallah/metalloidah v pochvah [About dangerous heavy metals/metalloids in soils] // Bjulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva [Bulletin of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute]. 2011. Iss. 68. P. 56–81.
2. Dobrovolskij V.V. Geografija mikrojelementov: Global'noe rassejanie [Geography of microelements. Global scattering]. M.: Mysl', 1983. 272 p.
3. Grigor'jan B.R., Kalimullina S.N., Hakimova A.M. Regional'nye aspekty zagrjaznenija sredy tjazhelymi metallami i zdorov'e naselenija [Regional aspects of environmental pollution by heavy metals and public health]// Kazanskij medicinskij zhurnal [Kazan medical journal]. 1994. Vol. 75, №1. P. 38–44.
4. Linnik P.N., Nabivanec B.I. Formy migracii metallov v presnyh poverhnostnyh vodah [Metal migration forms in fresh waters]. L.: Gidrometeoizdat, 1986. 270 p.
5. Perel'man A.I. Geohimija landshafta [Geochemistry of the landscape]. M.: Geografiz, 1961. 392 p.
6. Perel'man A.I., Kasimov N.S. Geohimija landshafta [Geochemistry of the landscape]. M.: Izd-vo MGU, 1999. 610 p.
7. Regional'nye normativy «Fonovoe soderzhanie tjazhelyh metallov v pochvah Respubliki Tatarstan» [Regional standards "Background content of heavy metals in the soils of the Republic of Tatarstan"]. Utv. prikazom Ministerstva ekologii i prirodnnykh resursov Respubliki Tatarstan ot 30.12.2015 №1134-p.
8. Regional'nye normativy «Fonovoe soderzhanie tjazhelyh metallov v donnyh otlozhenijah poverhnostnyh vodnyh ob'ektov Respubliki Tatarstan» [Regional standards "Background content of heavy metals in bottom sediments of surface water bodies of the Republic of Tatarstan"]. Utv. prikazom Ministerstva jekologii i prirodnnykh resursov RT ot 27.03.2019. №316-p.