

О. В. Лукашёв, В. М. Натаров, В. В. Савченко,  
Н. Г. Лукашёва, С. В. Савченко, Д. Л. Творонович-Севрук

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД И РЕЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БЕРЕЗИНСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

*В статье дана оценка эколого-геохимического состояния поверхностных вод и речных отложений на территории ГПУ «Березинский биосферный заповедник» по данным опробования 2008 г. Установлено, что гидрохимические показатели водных объектов в весенний и летний период имеют значительные различия. В летний период наблюдается рост рН и общей минерализации за счет повсеместного увеличения концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^-$ , а также снижение содержания ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{NO}_3^-$ . В донных отложениях р. Березины отмечено накопление за последние 10 лет  $\text{Ti}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Pb}$ , при снижении средней концентрации  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mn}$  и  $\text{Y}$ .*

В рамках задания ГНТП «Экологическая безопасность»<sup>1</sup> впервые за последнее десятилетие выполнено детальное геохимическое опробование территории Березинского биосферного заповедника. Отобраны воды и донные отложения ряда рек (Березина, Красногубка, Можанка, Смолянка, Бузянка) и озеро (Палик, Пострежское), начато опробование почв и растительности по сети  $2 \times 2$  км. В настоящей статье представлены основные результаты изучения вод и донных отложений р. Березины и её притоков на основе данных, полученных в весенне-летний период 2008 г.

В водных пробах определялись рН, макрокомпонентный состав ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ), а также  $\text{Cr}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Hg}$ ,  $\text{Pb}$ . Химический анализ вод (макро- и микроэлементы) производился в Центральной лаборатории РУП «Белгеология» по стандартным методикам.

В пробах донных отложений и взвешях методом эмиссионного спектрального анализа определялись  $\text{Be}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Yb}$ ,  $\text{Pb}$  и ряд других микроэлементов. Анализ проводился в Лаборатории физико-химических методов Института геохимии и геофизики НАН Беларуси.

**Речные воды.** Оценка гидрохимических параметров водных объектов на территории заповедника показала, что их химический состав существенно различается и зависит от ряда факторов, определяемых местоположением, гидрологическим режимом, характером подстилающих пород, наличием или отсутствием источника загрязнения и т. д.

Состояние речных вод р. Березины в границах Березинского биосферного заповедника обусловлено тем, что основное количество загрязняющих веществ поступает в водоток далеко за пределами заповедной территории, главным образом, ниже впадения р. Свислочи (32,77 млн  $\text{м}^3$  сточных вод по данным 2006 г.) и ниже г. Светлогорска (56,32 млн  $\text{м}^3$ ) [7]. Вместе с тем, водосбор верховья реки в зоне заповедника находится в густонаселенной местности с развитым сельскохозяйственным производством, что также может оказывать существенное влияние на гидрохимический режим реки.

Согласно данным регулярных мониторинговых наблюдений на участке 0,5 км выше н. п. Броды [8], расположенного в центральной части заповедника, среднегодовое содержание приоритетных загрязняющих веществ в 2007 г. составляло: азот аммонийный – 0,05–0,76  $\text{мгН/дм}^3$ , азот нитритный – 0,007–0,015  $\text{мгН/дм}^3$ , азот нитратный – 0,69–3,18  $\text{мгН/дм}^3$ , фосфор фосфатный – 0,005–0,022  $\text{мгР/дм}^3$ . В целом воды р. Березины в указанном пункте наблюдений за период 2000-х гг. могут быть классифицированы как «относительно чистые».

Данные о химическом составе поверхностных вод остальной части территории Березинского биосферного заповедника относятся к началу 1980-х гг. [3] и середине 1990-х гг. (фондовые материалы заповедника).

По мнению авторов [3] (И. Р. Трацевская, В. А. Кузнецов, Л. М. Фоменко), состав поверхностных вод Березинского биосферного заповедника формируется в условиях развития хорошо промытых, бедных растворимыми минеральными веществами четвертичных отложений и высокой заболоченности территории, что определяет низкий уровень минерализации этих вод. Установленные пределы колебания минерализации составили 30,1–340,5  $\text{мг/л}$  – для речных, 55,4–277,1  $\text{мг/л}$  – для озерных вод. Питание основного водотока р. Березины и ее притоков осуществляется за счет поверхностного стока болотных вод и подтока грунтовых вод. От их соотношения зависит химический состав кон-

<sup>1</sup> НИР 5.2 «Оптимизировать сеть научных стационаров и выполнить комплексную эколого-геохимическую оценку природных систем Березинского биосферного заповедника как территории фонового комплексного экологического мониторинга Республики Беларусь. Разработать маршруты экологического туризма» (2007–2010 гг.)

кретных водных проб. Следует также отметить, что заболоченность и залесенность территории Березинского биосферного заповедника способствуют поступлению в поверхностные воды большого количества органических веществ, в основном гумусового происхождения, которые придают водам желтую и темно-бурую окраску.

По классификации О. А. Алекина [1], воды рек бассейна р. Березины относятся к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе, II типу, малой и средней минерализации. Основными ионами являются  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Характерно низкое содержание  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , преобладание  $\text{Na}^+$  над  $\text{K}^+$ .

В 1981-1982 гг. в поверхностных водах Березинского биосферного заповедника был изучен ограниченный ряд микроэлементов (Ti, V, Mn, Ni, Cu, Mo, Pb) [3]. Результаты исследований свидетельствуют о том, что содержание перечисленных металлов в водах р. Березины не превышает соответствующих величин нормального геохимического поля Центральной геохимической провинции Беларуси [2, 6]. При интерпретации полученных данных В. А. Кузнецов и Л. М. Фоменко пришли к выводу, что на содержание большинства металлов существенное влияние оказывает вид дренируемых пород. Так, правые притоки р. Березины (Ускромский канал, реки Студенка и Мрай), дренирующие четвертичные отложения, представленные в основном разнородными песками, супесями, галечником, имеют более низкие концентрации всех изученных элементов, чем левые притоки, дренирующие в основном болотные отложения.

Исследования 2008 г. позволили обновить и расширить представление о геохимических особенностях территории заповедника. Посезонное опробование (апрель, август; в течение 2-х дней) поверхностных вод и взвесей проводилось на 9 стационарных пунктах наблюдений, приуроченных к следующим водным объектам:

- р. Березина (пункты отбора: д. Березино, д. Броды, выше оз. Палик);
- оз. Палик (центральная часть водоема);
- устье р. Красногубка (частично «болотная» река);
- устье р. Можанка (в зоне воздействия Бегомльской мелиоративной системы);
- р. Бузянка (пункт отбора у моста на шоссе Минск-Витебск);
- р. Смолянка («болотная» река);
- оз. Пострежское.

Как показал анализ полученных результатов, в весенний период 2008 г. величина pH, содержание  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  и общая минерализация вод р. Березины на территории заповедника уменьшались вниз по течению реки. Существенные отклонения от среднего для территории заповедника состава поверхностных вод отмечены только для малых «болотных» рек Красногубки и Смолянки. Для них характерны относительно низкая величина pH (6,10 и 6,25 соответственно), что позволяет отнести воды этих рек к группе слабокислых, и существенно пониженное содержание большинства макрокомпонентов (за исключением  $\text{NH}_4^+$ ). Минимальное значение всех показателей макросостава вод выявлены в оз. Пострежское, расположенном в пределах верхового болота (табл. 1).

**Таблица 1**

**Содержание макрокомпонентов в поверхностных водах Березинского биосферного заповедника в весенний период, мг/л**

Водный объект, участок отбора проб	Макрокомпоненты, мг/кг											$\Sigma_{\text{M}}$	
	pH	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$		
р. Березина	д. Березино	7,55	3,8	1,5	0,2	55,5	15,2	8,1	28,0	17,2	192,2	0,05	321,8
	н. п. Броды	7,25	3,6	1,0	0,2	39,2	10,6	6,0	28,4	7,9	128,1	<0,01	225,0
	выше оз. Палик	7,10	3,2	0,9	0,4	32,7	6,6	5,5	<2,0	5,3	12,2	<0,01	68,8
оз. Палик	7,30	3,6	1,0	0,4	35,9	7,9	6,0	18,5	2,9	145,9	<0,01	222,1	
р. Красногубка	6,10	1,3	0,3	1,2	12,0	4,0	3,5	23,0	3,5	23,0	0,02	71,8	
р. Можанка	7,55	5,2	2,0	0,2	47,9	15,9	11,6	23,0	13,7	180,0	0,03	299,5	
р. Бузянка	7,15	3,2	0,6	0,2	19,6	4,6	4,0	8,2	1,4	76,3	<0,01	118,1	
р. Смолянка	6,25	1,8	0,1	1,2	6,5	2,6	3,0	2,1	3,0	39,6	0,03	59,9	
оз. Пострежское	5,60	1,3	0,4	0,7	4,4	1,3	2,0	<2,0	2,2	18,3	<0,01	32,6	

Во второй половине лета 2008 г. наблюдавшаяся в весенний период картина распределения основных компонентов гидрохимического состава существенно изменилась (табл. 2). Во всех пробах воды отмечен рост величины pH, при этом воды р. Березина и оз. Палик из группы нейтральных пе-

решили в слабощелочные, рек Красногубки и Смолянки – из слабокислых в нейтральные, оз. Пострежское – из слабокислых в слабощелочные (классификация [4]) Во всех исследованных водных объектах (кроме р. Можанки) выросла общая минерализация воды: в р. Красногубке в 2,5 раза, р. Смолянке – 3,8, оз. Пострежское – в 3,7 раза. Меньшие колебания общей минерализации характерны для верхнего и среднего течения р. Березины в пределах заповедника – 1,3 и 1,6 раза соответственно. Прирост общей минерализации в большинстве случаев произошел за счет повсеместного увеличения концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^-$  (последнее положительно коррелирует с ростом величины pH). С другой стороны, содержание ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  (в 7 случаях из 9) и  $\text{NO}_3^-$  (практически во всех водных объектах) уменьшилось в n раз.

Таблица 2

**Содержание макрокомпонентов в поверхностных водах Березинского биосферного заповедника в летний период, мг/л**

Водный объект, участок обора проб		Макрокомпоненты, мг/кг											$\Sigma_M$
		pH	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	
р. Березина	д. Березино	7,90	5,7	1,8	0,45	69,5	19,1	10,3	19,8	1,8	268,4	0,04	413,7
	н. п. Броды	8,03	5,6	1,5	0,4	65,2	16,5	9,2	11,9	2,8	250,1	<0,01	363,3
	выше оз. Палик	7,88	5,0	1,0	0,5	60,8	15,8	9,2	11,5	1,9	231,8	<0,01	337,6
оз. Палик		8,12	4,2	0,7	1,0	53,2	12,5	8,6	4,5	0,4	201,3	<0,01	286,6
р. Красногубка		7,35	3,1	0,5	1,0	30,4	10,5	6,8	<2,0	1,8	122,0	0,01	176,4
р. Можанка		8,37	6,1	1,5	0,1	52,1	12,5	11,4	8,6	3,9	195,2	0,03	294,5
р. Бузянка		7,35	3,1	<0,5	1,2	25,0	7,2	4,6	<2,0	0,2	109,8	<0,01	150,6
р. Смолянка		7,15	1,8	<0,5	1,2	45,6	7,9	9,2	<2,0	2,0	152,5	0,02	226,1
оз. Пострежское		7,92	1,3	<0,5	1,3	21,7	<0,5	5,6	<2,0	0,6	54,9	<0,01	86,5

Похожая на распределение макрокомпонентов картина наблюдалась весной 2008 г. и в отношении микроэлементов (табл. 3). Максимальное содержание растворенных Ni, Zn и Pb установлено в р. Березине при входе на территорию заповедника. Минимальные значения концентрации всех определявшихся металлов отмечены в «болотной» р. Смолянке и оз. Пострежское (кроме Zn). Этот факт опровергает установившееся мнение (см. выше), что присутствие органического вещества преимущественно определяет миграцию элементов-металлов в речных водах. Содержание As и Hg (ранее не определявшихся на территории Березинского биосферного заповедника) во всех пробах поверхностных вод меньше 5 мкг/л и 0,5 мкг/л соответственно. Содержание Cr во всех исследованных водных пробах не превышает 20 мкг/л, Cd – 1,0 мкг/л.

Таблица 3

**Содержание растворенных микроэлементов в поверхностных водах Березинского биосферного заповедника, мкг/л**

Водный объект, участок обора проб		Микроэлементы, мкг/л									
		Co		Ni		Cu		Zn		Pb	
		весна	лето	весна	лето	весна	лето	весна	лето	весна	лето
р. Березина	д. Березино	4,1	3,6	9,4	7,1	3,80	2,27	23,4	9,8	20,0	25,5
	н. п. Броды	5,0	4,5	7,1	6,5	3,10	1,26	1,0	5,8	13,8	14,8
	выше оз. Палик	3,8	2,7	6,9	5,2	2,50	1,10	4,0	5,8	15,0	25,5
оз. Палик		5,0	2,9	6,9	3,5	2,50	1,14	6,6	6,7	13,8	22,7
р. Красногубка		0,6	<1,0	4,1	3,3	2,50	1,48	8,1	9,0	3,8	39,9
р. Можанка		4,7	2,1	6,5	5,6	2,80	1,26	3,5	6,6	16,2	14,1
р. Бузянка		2,5	<1,0	5,2	2,5	1,25	1,26	4,0	5,1	8,8	22,7
р. Смолянка		1,6	2,1	2,5	4,8	0,80	1,48	5,4	16,0	1,2	35,1
оз. Пострежское		2,2	<1,0	3,1	<1,0	0,80	1,25	13,0	11,2	1,2	14,1

Во второй половине лета 2008 г. отмечена тенденция снижения концентрации растворенных Co, Ni, Cu во всех пробах воды, кроме р. Смолянки и оз. Пострежское (только Co и Ni) (см. табл. 3). Концентрация растворенного Zn в среднем и нижнем течении р. Березины выросла (до 5,8 раза), в р. Смолянка – в 3,0 раза, в р. Можанке – в 1,9 раза. Максимальные изменения содержания раство-

ренного Pb характерны для малых «болотных» рек Красногубки (10,5 раза), Смолянки (29,3 раза) и оз. Пострежское (11,8 раза). При этом для данных водных объектов был характерен максимальный рост общей минерализации воды (в р. Красногубке в 2,5 раза, р. Смолянке – 3,8 раза, оз. Пострежское – в 3,7 раза).

Было также изучено распределение в поверхностных водах Березинского биосферного заповедника ряда микроэлементов-металлов во взвешенном состоянии (таблица 4, 5).

Таблица 4

**Содержание взвешенных форм микроэлементов в поверхностных водах Березинского биосферного заповедника в весенний период, мкг/л**

Водный объект, участок обора проб		Микроэлементы, мкг/л								
		Be	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
р. Березина	д. Березино	0,0100	23,3	0,172	0,607	20,2	151,8	0,101	0,202	0,304
	н. п. Броды	0,0034	9,08	0,101	0,168	4,71	87,4	0,034	0,067	0,118
	выше оз. Палик	0,0010	3,07	0,036	0,092	3,58	43,0	0,012	0,043	0,174
	оз. Палик	0,0005	1,26	0,017	0,063	0,99	23,0	0,007	0,020	0,135
	р. Красногубка	0,0010	1,45	0,053	0,068	3,39	38,7	0,010	0,024	0,048
	р. Можанка	0,0010	2,58	0,028	0,084	8,40	32,3	0,014	0,037	0,136
	р. Бузянка	0,0004	0,656	0,010	0,039	3,09	23,9	0,007	0,019	0,062
оз. Пострежское	0,0007	2,00	0,035	0,080	1,27	30,0	0,017	0,053	0,067	
Водный объект, участок обора проб		Микроэлементы, мкг/л								
		Zn	Sr	Y	Zr	Nb	Ag	Ba	Yb	Pb
р. Березина	д. Березино	3,04	2,02	0,182	2,43	0,091	—	9,11	0,020	1,52
	н. п. Броды	0,672	0,672	0,077	1,18	0,030	0,003	2,19	0,0084	0,202
	выше оз. Палик	0,410	0,256	0,020	0,369	0,010	0,001	1,23	0,0020	0,164
	оз. Палик	0,225	0,135	0,008	0,104	0,004	0,0005	0,585	0,0009	0,126
	р. Красногубка	0,121	0,145	0,019	0,0087	0,005	0,0005	0,315	0,0019	0,111
	р. Можанка	<0,129	0,226	0,019	0,129	0,008	0,0012	0,775	0,0019	0,026
	р. Бузянка	0,270	0,116	0,007	0,089	0,004	0,0006	0,386	0,0007	0,116
оз. Пострежское	0,226	0,200	0,017	0,246	0,007	0,0007	0,663	0,0017	0,133	

Примечание. В золах взвесей не обнаружены Sc (чувствительность определения 5 мг/кг), Mo (3 мг/кг), Ge, W, Bi (10 мг/кг), Hf (20 мг/кг), Cd, Sb, Ta, Tl (100 мг/кг). Взвешенное Sn установлено в менее чем 50 % случаев в концентрации 0,005—0,047 мг/л.

В весенний период наблюдалось постепенное снижение содержания взвешенных форм большинства исследованных элементов на всем протяжении р. Березины (от д. Березино до оз. Палик) за счет разбавления вод основной реки «болотными» водами притоков. Снижение концентрации составило для Be, Mn, Y, Zr, Nb, Yb 20,0–23,4 раза, для Ti, V, Co, Ni, Zn, Sr, Ba, Pb – 10,0–15,6, для Cr, Fe, Cu – 2,3–9,6 раза. Содержание взвешенных форм перечисленных металлов в водах малых рек по сравнению с р. Березиной относительно низкое или сопоставимое.

В летний период отмечалась тенденция к снижению содержания взвешенных форм всех (кроме Mn) изученных металлов в верховьях р. Березины в n–10n раз при одновременном увеличении содержания большинства из них (кроме Cu и Pb) в n–10n раз в южной части заповедника на участке впадения реки в оз. Палик (табл. 5). Изменение содержания взвешенных металлов в малых реках с их локальными водосборами не столь однозначно. Например, для р. Красногубки (частично «болотная» река) на фоне снижения содержания взвешенных форм Ti, V, Cr, Pb и стабильного содержания Cu, Y, Yb установлено увеличение концентрации всех прочих металлов. В р. Можанке (влияние Бегомльской мелиоративной системы) наблюдается снижение содержания взвешенных Be, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Sr, Ba, Pb, стабильное содержание Y, Nb, Yb, при увеличении содержания Zn и Zr. Третий вариант распределения микроэлементов наблюдается в р. Бузянке и т. д.

Таблица 5

**Содержание взвешенных форм микроэлементов в поверхностных водах  
Березинского биосферного заповедника в летний период, мкг/л**

Водный объект, участок обора проб		Микроэлементы, мкг/л								
		Be	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
р. Березина	д. Березино	0,0028	5,58	0,075	0,112	22,3	75,4	0,020	0,056	0,279
	выше оз. Палик	–	6,11	0,175	0,109	39,3	231,3	0,065	0,096	0,131
оз. Палик		–	2,35	0,055	0,039	5,09	47,0	0,020	0,051	0,039
р. Красногубка		–	0,751	0,038	0,023	14,1	56,3	0,047	0,075	0,047
р. Можанка		0,0007	1,41	0,024	0,040	4,36	16,8	0,008	0,014	0,040
р. Бузянка		–	2,09	0,052	0,035	13,1	78,4	0,017	0,031	0,096
Участок обора пробы		Микроэлементы, мкг/л								
		Zn	Sr	Y	Zr	Nb	Ag	Ba	Yb	Pb
р. Березина	д. Березино	1,12	0,838	0,056	0,642	0,028	–	1,40	0,006	0,084
	выше оз. Палик	0,873	0,873	0,087	0,786	0,044	–	4,37	0,0087	0,131
оз. Палик		–	–	0,039	0,509	0,039	–	0,979	0,0039	0,090
р. Красногубка		0,751	0,281	0,019	0,131	0,009	–	0,610	0,0019	0,042
р. Можанка		0,134	0,134	0,020	0,188	0,008	–	0,302	0,0020	0,023
р. Бузянка		0,697	0,348	0,035	0,436	0,017	–	1,045	0,0035	0,080

Следует отметить, что в реках бассейна Черного моря ряд металлов при низкой мутности воды мигрирует, главным образом, в растворенном состоянии. Так, согласно данным В. К. Кузнецова [5], в водах р. Припяти 81–92% Mn, Ni, Co, Cu мигрирует в растворенном состоянии, тогда как для Fe этот показатель заметно ниже (72%), а для Al и Ti составляет всего 5,9 и 2,4% соответственно.

При очень низкой мутности воды рек и озер Березинского биосферного заповедника (вес золы взвесей, по данным весеннего опробования, не превышает 10 мг/л, по данным летнего – 5 мг/л, в ряде случаев составляя 0,5 мг/л), в них следует ожидать величину доли переноса ряда металлов во взвешенной форме порядка 0,п–п %. Действительно, оставляя в стороне влекомый сток (не более п %), из данных таблиц 3-5 получаем (табл. 6), что для р. Березины доля взвешенного Co на входе реки в заповедник весной составляет 2,4 %, Ni – 2,1 %, Cu – 7,4 %, Pb – 7,1 %, тогда как на участке реки около н. п. Броды – 0,68 %, 0,93 %; 3,7 % и 1,4 %, выше оз. Палик – 0,31 %, 0,62 %; 6,5 % и 1,1 % соответственно. Непосредственно в оз. Палик данный ряд показателей составляет 0,14 %, 0,29 %; 5,1 % и 0,90% соответственно. Таким образом, за счет разбавления вод р. Березины водами «болотных» рек на территории заповедника в весенний период, по-видимому, происходит постепенное снижение доли мигрирующих взвешенных форм указанных металлов.

Таблица 6

**Доля взвешенных форм микроэлементов в поверхностных водах  
Березинского биосферного заповедника в различные периоды, %**

Водный объект, участок обора проб		Микроэлементы, %							
		Co		Ni		Cu		Pb	
		весна	лето	весна	лето	весна	лето	весна	лето
р. Березина	д. Березино	2,4	0,55	2,1	0,78	7,4	10,9	7,1	0,33
	д. Броды	0,68	не опр.	0,93	не опр.	3,7	не опр.	1,4	не опр.
	выше оз. Палик	0,31	2,4	0,62	1,8	6,5	10,6	1,1	0,51
оз. Палик		0,14	0,68	0,29	1,4	5,1	3,3	0,90	0,39
р. Красногубка		1,6	4,5	0,58	2,2	1,9	3,1	0,80	0,18
р. Можанка		0,30	0,38	0,57	0,25	4,6	3,1	0,16	0,16
р. Бузянка		0,30	1,7	0,36	0,64	7,2	6,1	8,8	0,23

Согласно данным летнего опробования, в распределении взвешенных форм микроэлементов в р. Березина наблюдается следующая картина: по сравнению с весенним периодом доля взвешенных форм Co, Ni, Pb на входе реки в заповедник существенно падает (в 2,7–21,5 раза), тогда как на выходе в районе оз. Палик для Co, Ni, Cu возрастает (в 1,6–7,7 раза). Распределение взвешенных Co, Ni, Pb по сравнению с весной фактически меняется на обратное – р. Березина впадает в оз. Палик более обогащенной взвешенными формами этих элементов (органно-минеральные коллоиды), чем на входе в северной части заповедника.

Доля взвешенных форм Co, Ni и Cu в водах малых рек Красногубка и Бузянка также летом возрастает. Доля взвешенного Pb в летний период существенно снижается (в 2,0–38,3 раза) или остается без изменения (р. Можанка).

**Донные отложения.** Последнее детальное изучение особенностей распределения микроэлементов в аллювиальных отложениях Березинского биосферного заповедника было выполнено В. В. Савченко в 1997 г. (табл. 7). Установлено, что их пространственное распределение в р. Березине в пределах территории заповедника (за исключением Mn и Pb) в целом однородное. В частности, отмечено более высокое среднее содержание Mn (5300 мг/кг, n = 11) на участке выше н. п. Броды, по сравнению с участком н.п. Броды–оз. Палик (2600 мг/кг, n = 9). Для Pb были выявлены два участка (протяженностью 20–25 км) относительно повышенного содержания: на севере в районе д. Березино (буферная зона заповедника) и в районе н. п. Броды (мелиоративный массив). Еще более ранние исследования (1989 г.) показали, что содержание Pb закономерно снижалось вниз по течению реки: выше н. п. Броды оно составляло 16 мг/кг (n = 11), ниже впадения Сергучского канала – 10 мг/кг (n = 11), в илах оз. Палик – 7,0 мг/кг (n = 5). В пробах 1997 г. Pb был установлен только в 50 % случаев.

**Таблица 7**

**Среднее валовое содержание микроэлементов в илах прирусловых отмелей р. Березины в Березинском биосферном заповеднике, мг/кг сухого вещества (1997 г., n = 20)**

Показатель	Гранулометрическая фракция		Соотношение a/b, раз
	менее 0,01 мм (a)	менее 1 мм (b)	
Зольность, %	70,0	84,0	0,83
Be	1,1	1,1	1,0
Sc	6,8	4,5	1,5
Ti	1700	1400	1,2
V	31	21	1,5
Cr	38	18	2,2
Mn	5400	4100	1,3
Co	6,5	5,1	1,3
Ni	16	7,7	2,1
Cu	33	10	3,3
Y	21	18	1,2
Zr	95	250	0,38
Nb	8,6	8,7	1,0
Mo	1,2	1,8	0,67
Ba	640	470	1,4
Yb	1,9	1,5	1,3
Pb	9,4	(50 % случаев)	–

Отобранные в 2008 г. пробы донных отложений речной сети Березинского биосферного заповедника (табл. 8) в большинстве случаев представляют собой илы с существенно варьирующим содержанием органического вещества (1,8–63,5 %). Хотя доля органического компонента может быть очень высока (р. Бузянка), большая часть образцов характеризуется его содержанием менее 20 %. В условиях отсутствия ярко выраженных техногенных источников поступления металлов, органическое вещество донных осадков р. Березины определяет накопление только одного естественного компонента отложений – Fe (0,687–4,82 %; r = +0,762, p < 0,0001). Связь органического вещества и Cu проявлена в средней степени (r = +0,528, p < 0,05). Четко выявлена характерная природная ассоциация Y–Yb (r = +0,938, p < 0,0001).

Таблица 8

Валовое содержание химических элементов в донных отложениях (фракция менее 1 мм) речной сети Березинского биосферного заповедника, мг/кг сухого вещества (лето, 2008 г.)

Водный объект, участок отбора (число проб)		Микроэлементы, мг/кг														
		Be	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Yb	Pb
р. Березина	выше н. п. Броды (11)	0,97	1875	21,1	11,5	991	4,98	11,6	13,3	187	11,5	502	7,3	568	1,22	19,7
	ниже н. п. Броды (10)	1,16	1528	21,9	12,8	607	6,35	12,5	17,3	187	15,6	382	7,4	557	1,53	19,3
	р. Красногубка (1)	–	1200	25,7	10,3	770	–	10,3	11,1	–	8,6	470	6,0	385	0,86	20,6
	р. Можанка (1)	1,40	1670	25,4	15,9	1520	7,2	15,2	25,4	145	14,4	250	5,1	510	1,4	21,7
	р. Бузянка (1)	0,37	370	8,41	4,39	510	1,8	5,8	15,7	110	7,3	73	2,6	365	0,73	16,4
	Сергучский канал (1)	–	1080	13,7	9,81	200	4,9	11,8	10,8	–	9,8	270	9,8	520	0,98	19,6

Примечание. В золах донных отложений не обнаружены Sc (чувствительность определения 5 мг/кг), Mo (3 мг/кг), Ge, Sn, W, Bi (10 мг/кг), Hf (20 мг/кг), Cd, Ta, Tl (100 мг/кг). Чувствительность определения Be, Ag – 1 мг/кг, Co – 5 мг/кг, Zn, Sr – 200 мг/кг. Ag и Zn обнаружены в единичных случаях.

Статистическая обработка данных валового содержания металлов, встречающихся в донных отложениях р. Березины в 100 % случаев, показала (табл. 9), что за прошедшее десятилетие в них повысилось среднее содержание *технофильных* (Cu, Ni, Pb; более чем в 1,5 раза) и *нетехнофильных* (Ti, Zr, Ba) элементов, при снижении средней концентрации Mn и Cr, Y. Если ранее (1997 г.) Pb отмечался в донных отложениях в 50 % случаев, то в 2008 г. этот элемент при той же чувствительности определения был установлен повсеместно.

Таблица 9

Статистические характеристики валового содержания микроэлементов в донных отложениях р. Березины в пределах Березинского биосферного заповедника (фракция менее 1 мм), мг/кг сухого вещества (n = 21, лето 2008 г.)

Компонент	$X_{2008}/X_{1997}$	$\sigma$	$S_x$
Органическое в-во, %	11,27/26,0	6,238	1,361
Ti	1710,0/1400,0	552,4	120,5
V	21,52/21,0	4,760	1,039
Cr	12,11/18,0	2,342	0,511
Mn	808,1/4100	392,1	85,56
Ni	12,04/7,7	2,016	0,440
Cu	15,20/10,0	5,876	1,282
Y	13,50/18,0	3,400	0,742
Zr	444,8/250,0	132,5	28,92
Ba	562,9/470,0	94,57	20,68
Yb	1,368/1,50	0,373	0,081
Pb	19,50/(50 % случаев)	2,780	0,607

Сравнение среднего валового содержания металлов во фракции менее 1 мм в донных отложениях р. Березины в пределах заповедника на участках выше (n = 11) и ниже н. п. Броды (n = 10), показало, что для лежащего выше по течению участка реки характерно более высокое содержание Ti (в 1,2 раза), Mn (1,6 раза), Zr (1,3 раза), тогда как для нижележащего – Cu (1,3 раза) и Y (1,4 раза). Содержание V, Cr, Fe, Ni, Ba, Yb и Pb на обоих участках сопоставимо. Следует также отметить, что существовавшая в 1980–1990-е гг. тенденция постепенного снижения валового содержания Pb в донных отложениях заповедника вниз по течению реки (см. выше) исследованиями 2008 г. не подтверждается.

#### Заключение

В 2008 г. на территории Березинского биосферного заповедника были произведены сезонный (апрель и август) отбор проб поверхностных вод и опробование донных отложений.

В весенний период 2008 г. величина pH, содержание основных макрокомпонентов и общая минерализация вод р. Березины уменьшались вниз по течению реки. Существенные отклонения от средних для заповедника значений гидрохимических показателей наблюдались только для рек Красногубки и Смолянки. Для них характерны низкая величина pH и пониженное содержание большинства

макрокомпонентов (за исключением  $\text{NH}_4^+$ ). Минимальное содержание макрокомпонентов выявлены в оз. Пострежское. Во второй половине лета во всех водных объектах отмечен рост величины рН и увеличение минерализации от 1,3 раз (р. Березина) до 3,7 раза (оз. Пострежское).

Исследование растворенных в воде микроэлементов показало, что в весенний период максимальное содержание Ni, Zn и Pb установлено в р. Березине при входе на территорию заповедника. Минимальные значения всех изученных металлов отмечены в р. Смолянка и оз. Пострежское (кроме Zn). Во второй половине лета наблюдается тенденция снижения концентрации растворенных Co, Ni, Cu во всех водных объектах (кроме р. Смолянки и оз. Пострежское) и повышение содержания растворенного Zn – до 5,8 раза. Максимальные изменения содержания растворенного Pb характерны для р. Красногубки, оз. Пострежское и р. Смолянки – от 10,5 до 29,3 раза.

В весенний период в р. Березине на территории заповедника наблюдалось постепенное снижение содержания взвешенных форм большинства исследованных элементов вниз по течению (от 2,3 до 23,4 раза). В летний период отмечена тенденция к снижению содержания взвешенных форм всех (кроме Mn) изученных металлов в верховьях р. Березины при одновременном увеличении содержания большинства из них (кроме Cu и Pb) на участке впадения реки в оз. Палик. Для других более мелких водных объектов определенных тенденций не выявлено.

Отобранные в 2008 г. пробы донных отложений речной сети в большинстве случаев представляют собой илы с существенно варьирующим содержанием органического вещества (от 1,8 до 63,5 %) и Fe (0,687–4,82 %).

Сравнение полученных в 2008 г. значений с данными предыдущих исследований показало, что за прошедшее десятилетие в них повысилось среднее содержание *технофильных* (Cu, Ni, Pb; более чем в 1,5 раза) и *нетехнофильных* (Ti, Zr, Ba) элементов, при снижении средней концентрации Mn и Cr, Y. Если ранее (1997 г.) Pb отмечался в донных отложениях в 50 % случаев, то в 2008 г. этот элемент при той же чувствительности определения был установлен повсеместно.

#### Л и т е р а т у р а

1. **Алекин, О. А.** Основы гидрохимии / О. А. Алекин. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 444 с.
2. Геохимические провинции покровных отложений БССР / Под ред. К. И. Лукашева. – Мн.: Наука и техника, 1969.
3. Геохимическое изучение ландшафтов Березинского биосферного заповедника / Под ред. К. И. Лукашева. – Мн.: Наука и техника, 1985.
4. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды / под ред. Т. В. Гусевой. – М.: ФОРУМ:ИНФА-М, 2007.
5. **Кузнецов, В. А.** Геохимия речных долин / В. А. Кузнецов. – Мн.: Наука и техника, 1986.
6. **Кузнецов, В. А.** О содержании микроэлементов в поверхностных и грунтовых водах Центральной геохимической провинции Белоруссии / В. А. Кузнецов, Л. М. Фоменко, В. В. Довнар. – Докл. АН БССР. – 1981. – Т. 25, № 7. – С. 645–648.
7. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень. 2006 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. – Мн.: Издательский центр БГУ, 2007.
8. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень. 2007 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. – Мн.: Минсктиппроект, 2008.

**О. В. Лукашѐв, В. М. Натаров, В. В. Савченко,  
Н. Г. Лукашѐва, С. В. Савченко, Д. Л. Творонович-Северук**

#### **ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕРЕЗИНСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА**

*В результате проведенных в 2008 г. на территории Березинского биосферного заповедника исследований был произведен сезонный (апрель и август) отбор и анализ поверхностных вод и донных отложений.*

*Оценка гидрохимических параметров водных объектов показала, что в весенний период содержание основных макрокомпонентов, общая минерализация и величина рН вод р. Березины планомерно уменьшались вниз по течению реки. Для рек Красногубки, Смолянки и оз. Пострежское наблюдалась минимальная величина рН и пониженное содержание большинства макрокомпонентов (за исключением  $\text{NH}_4^+$ ). Во второй половине лета во всех водных объектах отмечен рост величины рН в сторону подщелачивания и общей минерализации - в 1,3-3,7 раза. Максимальное содержание растворенных Ni, Zn и Pb в весенний период наблюдалось в водах р. Березины на участке при входе на территорию заповедника. Минимальные значения отмечены в р. Смолянка и оз. Пострежское. Во второй половине лета наметилась тенденция снижения концентрации растворенных Co, Ni, Cu, повышения растворенных Zn и Pb.*

*В весенний период опробования отмечалось постепенное снижение содержания взвешенных форм большинства исследованных элементов на всем протяжении р. Березины. В летний период уменьшением*



взвешенных форм металлов (кроме Mn) характеризовалось верховье р. Березины при одновременном их увеличении (кроме Cu и Pb) на участке впадения в оз. Палик. Для других водных объектов определенных тенденций не установлено.

Анализ отобранных в 2008 г. донных отложений показал, что минимальное содержания большинства микроэлементов характерно для р. Бузянки. Максимальные значения Fe, Ti, Co, Y, Yb, Pb отмечаются в оз. Палик, V, Cr, Mn, Be, Ni, Cu – р. Можанке. Цинк наблюдается только в донных отложениях оз. Полик и р. Бузянки, Ag – р. Можанки, Бузянки и одной из проб, отобранных в р. Березине.

Сравнение полученных в 2008 г. значений с данными предыдущих исследований свидетельствует о том, что за прошедшее десятилетие в донных отложениях р. Березины среднее содержание технофильных (Cu, Ni, Pb) и нетехнофильных (Ti, Zr, Ba) элементов повысилось более чем в 1,5 раза, при снижении средней концентрации Mn и Cr, Y. Если ранее Pb отмечался в донных отложениях 50 % случаев, то в 2008 г. этот элемент при той же чувствительности определения был установлен повсеместно.