

О. В. Лукашёв, В. М. Натаров, Н. Г. Лукашёва, С. В. Савченко

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СНЕГОВЫХ ВОД БЕРЕЗИНСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

В рамках задания ГНТП «Экологическая безопасность»<sup>1</sup> впервые с середины 1990-х гг. выполнено детальное геохимическое опробование территории Березинского биосферного заповедника. Отобраны поверхностные и метеорные воды, донные отложения ряда рек и озёр, проводится опробование почв и растительности по сети 2 × 2 км. В настоящей статье представлены основные результаты изучения снеговых вод заповедника на основе опробования, выполненного в марте 2009 г.

Анализ снеговых вод (макро- и микроэлементы) производился в Центральной лаборатории РУП «Белгеология» (химический и атомно-абсорбционный методы, аналитик Г. В. Василевич), анализ взвесей — в Лаборатории физико-химических методов Института геохимии и геофизики НАН Беларуси (эмиссионный спектральный метод, аналитик В. П. Осипова).

**Метеорные воды (общий обзор).** Изучение состава атмосферных осадков на территории Беларуси в 2008 гг. производилось на 19 станциях мониторинга, одной из которых является станция мониторинга фонового ранга (СМФР), расположенная в Березинском биосферном заповеднике.

Анализ данных [1—8] показывает, что общая минерализация осадков заповедника действительно отражает региональный фон Беларуси и является в ряду наблюдений на указанных станциях минимальной (5,02—8,16 мг/л в период 2001—2008 гг., таблица 1).

Соотношение ионов в атмосферных осадках Березинского биосферного заповедника (таблица 1) характерно для регионов с фоновым состоянием атмосферы; состав осадков формируется, главным образом, под влиянием регионального и трансграничного переносов [5—8].

Таблица 1 — Состав атмосферных осадков Березинского биосферного заповедника в период 2001—2008 гг., мг/л [1—8]

Год	pH	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Σ <sub>M</sub>
2001	5,13	1,56	0,79	0,84	0,48	0,54	0,20	0,20	0,34	0,07	5,02
2002	5,55	3,11	0,88	1,51	1,84	1,07	0,24	0,24	0,83	0,19	9,91
2003	5,39	2,52	0,73	1,27	1,25	0,49	0,23	0,20	0,96	0,18	6,39
2004	5,59	1,90	0,76	1,66	1,10	0,89	0,27	0,29	0,59	0,13	7,60
2005	5,48	1,29	0,81	1,64	0,95	0,56	0,22	0,22	0,41	0,11	6,21
2006	5,57	1,46	1,00	1,96	0,44	0,75	0,58	0,26	0,51	0,09	6,97
2007	5,46	1,24	0,92	1,82	2,37	0,68	0,34	0,19	0,49	0,11	8,16
2008	5,56	1,39	0,72	1,85	1,49	0,53	0,34	0,36	0,45	0,10	7,23

Естественно, что на отдельных участках территории Березинского биосферного заповедника величина регистрируемых показателей может существенно отличаться от приведённых в таблице 1 *средних* показателей участка расположения СМФР. В частности, кислотность атмосферных вод (pH = -lg[H<sup>+</sup>]) определяется наличием в них свободных ионов H<sup>+</sup> (H<sub>2</sub>O ↔ H<sup>+</sup> + OH<sup>-</sup>), концентрация которых, в свою очередь, в каждом конкретном случае зависит от присутствия в водах SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> (анионы сильных кислот — повышают кислотность, т. е. снижают pH) и Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (катионы сильных щёлочей — снижают кислотность, т. е. повышают pH). Определённую роль в увеличении кислотности (снижении pH) играет также слабая кислота H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ↔ H<sup>+</sup> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), образующаяся за счёт находящегося в атмосфере CO<sub>2</sub>. Данная кислота при отсутствии техногенного загрязнения обеспечивает величину pH атмосферных осадков, приблизительно равную 5,6. К этому значению и близки величины pH, установленные в 2001—2008 гг. для атмосферных выпадений Березинского биосферного заповедника (5,13—5,59, таблица 1). Следует отметить, что кроме CO<sub>2</sub>, в незагрязнённом атмосферном воздухе могут присутствовать в незначительных количествах также другие кислотообразующие вещества естественного происхождения: органические кислоты, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, HCl, NO<sub>x</sub>, HNO<sub>3</sub> и т. д. Существенное влияние на величину pH оказывает, например, прохождение воды через кроны деревьев. Таким образом, кислотность атмосферных вод — результат того или иного соотношения анионов и катионов каждого конкретного раствора. Аналогичные примеры можно привести и для других основных катионов и анионов химического состава атмосферных вод Березинского биосферного заповедника.

<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.)

На территориях, характеризующихся незначительными выбросами промышленных предприятий, изменение состава атмосферных осадков и снегового покрова может происходить за счёт трансграничного переноса соединений S и N. В частности, согласно данным [5—7], отражающим суммарное действие локальных и удалённых источников загрязнения атмосферы, влажное выпадение S на территории заповедника в 2005—2007 гг. соответственно составляло 270,5 кг/(км<sup>2</sup> · год), 289,0 кг/(км<sup>2</sup> · год) и 258,6 кг/(км<sup>2</sup> · год). Приведённые показатели свидетельствуют о том, что осадки Березинского биосферного заповедника в относительно невысокой степени загрязняются S в процессе трансграничного переноса.

В целом можно констатировать, что существенное снижение потенциала закисления (S, N, Ca, Mg, K), обусловленного атмосферными осадками, в зоне расположения СМФР произошло в период 1989—1995 гг. [8] (с более чем 1400 до менее 600 г-экв/(га · год)), в последующие годы вплоть до настоящего времени потенциал закисления варьирует незначительно.

**Снеговые воды.** Погодные условия зимы 2007/2008 гг. не позволили произвести отбор представительных проб снегового покрова территории заповедника вследствие его неустойчивости и очень короткого периода снегостояния. В зимний период 2008/2009 гг. снежный покров был устойчив, его опробование было осуществлено 11.03 2009 г. в 12 точках, распределённых по территории заповедника в виде субмеридионального профиля (таблица 2). В каждой точке отбиралась смешанная снеговая проба, давшая после таяния от 23,0 до 27,5 л талой воды. Содержание золы взвешенного вещества колебалось в пределах 1,87—5,82 мг/л при среднем 3,11 мг/л.

Таблица 2 — Опробование снегового покрова Березинского биосферного заповедника (11.03 2009 г)

Проба	Привязка
1	Поле, в 50 м севернее кладбища, и в 30 м справа от дороги Березино—Угольцы. Координаты GPS: N 54°57'384"; E 28°11'114".
2	Пойма, в 150 м к востоку от моста через р. Московницу, в 30 м слева от дороги Лепель—Докшицы. Координаты GPS: N 54°54'000"; E 28°14'572".
3	Поле, ур. Любово, 30 м слева по дороге Лепель—Докшицы. Координаты GPS: N 54°54'735"; E 28°22'363".
4	Поле, у поворота на д. Замошье, в 30 м слева по дороге Бегомль—Березино. Координаты GPS: N 54°51'434"; E 28°11'287".
5	Поле в 100 м от леса и в 30 м слева от дороги Беседа—Слобода. Координаты GPS: N 54°50'040"; E 28°21'576".
6	Лесная поляна у шлагбаума по лесной дороге на р. Красногубку, в 40 м от дороги Рожно—Слобода. Координаты GPS: N 54°47'434"; E 28°17'629".
7	Поле, в 50 м к северу от СМФР. Координаты GPS: N 54°44'372"; E 28°18'123".
8	Высоковольтная ЛЭП, 50 м справа от дороги Барсуки—Стайск. Координаты GPS: N 54°45'730"; E 28°29'652".
9	Развилка ЛЭП из д. Домжерицы на дд. Переходцы и Крайцы, в 60 м справа от дороги Домжерицы—Крайцы. Координаты GPS: N 54°40'991"; E 28°16'533".
10	Поле на месте бывшей д. Пострежье (у колодца). Координаты GPS: N 54°38'700"; E 28°21'579".
11	Поле в 100 м к востоку от д. Уборок. Координаты GPS: N 54°31'568"; E 28°17'533".
12	Лиственный лес на обрубной просеке в 50 м к северу от дороги Селец—ур. Родошино. Координаты GPS: N 54°30'575"; E 28°22'351".

Данные содержания растворённых *макрокомпонентов* в исследованных снеговых водах Березинского биосферного заповедника приведены в таблице 3.

Согласно ранее проведённым исследованиям, в течение года (данные 2005—2006, 2008 гг.) наблюдается увеличение среднемесячной минерализации осадков в зимнее время (до 12—16 мг/л) и снижение (до 1,4—3,1 мг/л) в летнее [5, 6, 8]. Аналогичная закономерность отмечена и нами — средняя минерализация снеговой воды (17,28 мг/л) примерно в 2,4 раза выше среднегодового показателя для осадков за 2008 г. в целом (7,23 мг/л). Концентрации изученных макрокомпонентов снеговых вод по нашим данным варьируют по территории заповедника незначительно, в максимальной степени это отмечено для Na<sup>+</sup> (в 3 раза) и K<sup>+</sup> (в 3,5 раза). Сопоставление данных таблиц 3 и 4 позволяет сделать вывод, что снеговые воды Березинского биосферного заповедника по шкале, отражающей градации загрязнения снега Беларуси 20 лет назад [9,10], в *слабой* степени загрязнены Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> и в *сильной* — NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Относительно степени загрязнения снега NH<sub>4</sub><sup>+</sup> следует отметить, что практически на всех 19 станциях мониторинга в 2008 гг. были отмечены средние концентрации данного иона, попадающие в градацию *сильное* загрязнение [8]. Таким образом, по-видимому, за прошедшие два десятилетия произошло существенное повышение регионального фона аммонийного азота. С другой стороны, территория Березинского биосферного заповедника, наряду с г. Браславом, Березино, пос. Нарочь, может быть отнесена к наименее загрязнённым NH<sub>4</sub><sup>+</sup> [7, 8].

Таблица 3 — Содержание макрокомпонентов в снеговых водах Березинского биосферного заповедника (11.03 2009 г.), мг/л

Проба	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Σ <sub>M</sub>
1	5,60	0,60	0,20	1,00	2,10	<1,0	1,20	<2,0	2,30	9,15	<0,01	16,55
2	5,20	0,60	0,20	0,40	2,10	<1,0	1,20	<2,0	2,35	12,20	0,01	19,05
3	6,00	0,50	0,20	0,20	2,10	<1,0	1,20	<2,0	2,00	6,10	<0,01	12,30
4	6,80	0,60	0,20	0,70	2,10	<1,0	1,20	<2,0	1,80	9,15	<0,01	15,75
5	6,10	1,20	0,70	1,00	2,10	<1,0	2,20	<2,0	2,10	12,20	0,03	21,50
6	5,75	1,00	0,60	0,80	2,10	<1,0	1,20	<2,0	2,90	9,15	0,01	17,75
7	5,20	0,70	0,20	0,70	2,10	<1,0	1,20	<2,0	2,80	6,10	<0,01	13,80
8	5,70	0,70	0,20	0,80	2,10	<1,0	1,20	<2,0	2,50	6,10	<0,01	13,60
9	5,10	0,70	0,20	0,70	2,10	<1,0	1,20	<2,0	2,50	6,10	0,01	13,50
10	5,15	0,60	0,20	0,50	2,10	<1,0	1,20	<2,0	2,30	6,10	0,01	13,00
11	5,90	0,70	0,20	0,70	4,20	<1,0	1,20	<2,0	2,50	12,20	<0,01	21,70
12	5,80	1,80	0,50	0,40	4,20	<1,0	2,20	<2,0	1,40	18,30	0,05	28,80
x <sub>A</sub>	<b>5,69</b>	<b>0,81</b>	<b>0,30</b>	<b>0,66</b>	<b>2,45</b>	<b>&lt;1,0</b>	<b>1,37</b>	<b>&lt;2,0</b>	<b>2,29</b>	<b>9,40</b>	<b>0,013</b>	<b>17,28</b>
x <sub>СМФР</sub>	<b>5,56</b>	<b>0,34</b>	<b>0,36</b>	<b>0,53</b>	<b>0,45</b>	<b>0,10</b>	<b>0,72</b>	<b>1,39</b>	<b>1,85</b>	<b>1,49</b>	—	<b>7,23</b>

Примечание: x<sub>A</sub> — средняя арифметическая;  
x<sub>СМФР</sub> — средняя величина для атмосферных осадков за 2008 г. по данным СМФ [8].

Таблица 4 — Градации загрязнения снегового покрова Беларуси, мг/л (по данным опробования 1987—1989 гг.) [9, 10]

Растворённые ионы	Степень загрязнения			
	Сильное	Умеренное	Слабое	Очень слабое
Ca <sup>2+</sup>	5—7	>3—5	>2—3	≤2
Mg <sup>2+</sup>	>1,5	>1,0—1,5	>0,5—1,0	≤0,5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	>0,4	>0,3—0,4	>0,2—0,3	≤0,2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	>3	>2—3	>1—2	≤1

Содержание *растворённых микроэлементов* в снеговых водах Березинского биосферного заповедника ранее было охарактеризовано на основе изучения 5 пробных площадок (1996—1997 гг.). Среднее содержание Cr составляло 0,3 мкг/л, Mn — 17,0 мкг/л, Fe — 14,6 мкг/л, Ni — 0,8 мкг/л, Cu — 3,9 мкг/л, Zn — 31,4 мкг/л, Cd — 0,2 мкг/л, Pb — не был обнаружен. При анализе пространственного варьирования отдельных показателей не было выявлено ореолов рассеяния, связанных с локальными и региональными источниками поступления данных элементов в природную среду заповедника.

В целом можно отметить (таблица 5), что за прошедшее с 1997 г. время среднее содержание в снеговых водах: Ni практически не изменилось (0,8 мкг/л и 1,1 мкг/л соответственно); Cu и Zn — снизилось (3,9 мкг/л и <1 мкг/л; 31,4 мкг/л и 18,4 мкг/л соответственно); Cd — продолжает оставаться низким. С другой стороны, если в 1997 г. растворённый Pb в снеговых водах не отмечался, то в 2009 г. данный элемент был отмечен во всех 12 пробах (1,0—11,2 мкг/л). Аналогичное повышение за прошедшее десятилетие встречаемости Pb (с 50 до 100 % случаев) было установлено и для донных отложений речной сети заповедника [11].

Таблица 5 — Содержание растворённых микроэлементов в снеговых водах Березинского биосферного заповедника (11.03 2009 г.), мкг/л

Проба	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
1	<20	<1,0	1,9	<1	15,6	<5	<1,0	<0,5	1,0
2	<20	1,6	1,2	2,5	28,0	<5	<1,0	<0,5	8,8
3	<20	1,6	2,5	<1	14,0	<5	<1,0	<0,5	5,0
4	<20	<1,0	1,5	<1	14,6	<5	<1,0	<0,5	7,5
5	<20	1,2	<1,0	<1	18,1	<5	<1,0	<0,5	5,0
6	<20	1,6	<1,0	<1	18,6	<5	<1,0	<0,5	11,2
7	<20	<1,0	1,2	<1	11,7	<5	<1,0	<0,5	7,5
8	<20	<1,0	<1,0	<1	19,5	<5	<1,0	<0,5	5,0
9	<20	<1,0	<1,0	<1	18,7	<5	<1,0	<0,5	7,5
10	<20	1,2	1,2	<1	12,5	<5	<1,0	<0,5	11,2
11	<20	<1,0	<1,0	<1	21,1	<5	<1,0	<0,5	10,0
12	<20	<1,0	1,2	<1	28,3	<5	<1,0	<0,5	10,0
x <sub>A</sub>	<b>&lt;20</b>	<b>0,89</b>	<b>1,1</b>	<b>&lt;1</b>	<b>18,4</b>	<b>&lt;5</b>	<b>&lt;1,0</b>	<b>&lt;0,5</b>	<b>7,48</b>

Данные содержания *взвешенных микроэлементов* по результатам проведённого опробования представлены в таблице 6. Сопоставление средних показателей для территории Березинского биосферного заповедника и г. Полоцка (зима 2005/2006 гг.) позволяет говорить о *фоновом* уровне

концентрации изученных взвешенных микроэлементов на заповедной территории. Так, на территории г. Полоцка, даже при исключении из выборки ряда аномальных проб, приуроченных к участкам размещения промышленных предприятий, в 2,4 раза больше Sn, в 4,9—6,3 раза — Be, Ti, Co, Y, Zr, Nb, Yb, в 7,1—11,9 раз — V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba, Pb. Максимальный контраст содержания (более 8,5 раза) установлен для Cr, Fe, Ni, Cu, Sr, Ba, Pb.

Таблица 6 — Содержание взвешенных микроэлементов в снеговых водах Березинского биосферного заповедника (11.03 2009 г.), мкг/л

Проба	Be	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
1	0,00423	7,40	0,254	0,233	2,33	67,7	0,0635	0,212	0,698
2	0,00375	8,43	0,300	0,225	1,31	74,9	0,0375	0,169	0,375
3	0,00628	12,6	0,346	0,251	1,51	94,3	0,0691	0,298	0,314
4	0,00459	9,17	0,290	0,199	1,07	94,8	0,0459	0,168	0,856
5	0,0116	26,8	0,436	0,395	4,94	151,2	0,0582	0,291	0,582
6	0,00464	9,27	0,394	0,278	2,09	76,5	0,116	0,278	0,695
7	0,00692	15,6	0,554	0,346	1,73	86,5	0,138	0,346	0,623
8	0,00448	8,95	0,560	0,257	1,34	44,8	0,101	0,291	0,448
9	0,00547	6,02	0,301	0,492	1,59	87,6	0,0821	0,219	0,958
10	0,00442	7,73	0,331	0,254	0,751	44,2	0,0773	0,210	0,618
11	0,00801	20,0	0,961	0,561	2,40	220	0,200	0,400	0,721
12	0,00873	19,6	0,742	0,524	6,11	175	0,175	0,419	0,873
х	0,0057 <sub>Г</sub>	11,3 <sub>Г</sub>	0,420 <sub>Г</sub>	0,31 <sub>Г</sub>	2,26 <sub>А</sub>	101 <sub>Г</sub>	0,097 <sub>А</sub>	0,275 <sub>А</sub>	0,647 <sub>А</sub>
Х <sub>Полоцк</sub>	0,032	55,1	3,93	3,70	16,2	934	0,499	2,42	6,26
Проба	Zn	Sr	Y	Zr	Nb	Sn	Ba	Yb	Pb
1	1,48	0,635	0,0592	0,740	0,0211	0,0846	1,38	0,00635	0,275
2	0,937	0,562	0,0562	0,599	0,0187	0,0693	1,20	0,00562	0,262
3	1,26	0,628	0,0786	0,943	0,0471	0,157	1,73	0,00786	0,314
4	3,06	0,611	0,0489	0,611	0,0306	0,183	1,38	0,00611	0,367
5	1,74	1,28	0,163	2,62	0,0523	0,105	3,20	0,0174	0,419
6	1,16	0,695	0,0533	0,695	0,0231	0,0649	1,39	0,00580	0,371
7	1,38	1,04	0,104	0,969	0,0311	0,0830	1,73	0,0104	0,381
8	1,79	0,560	0,0627	0,515	0,0201	0,0604	1,01	0,00671	0,403
9	5,47	0,547	0,0547	0,410	0,0219	0,192	1,45	0,00547	0,274
10	1,77	0,552	0,0662	0,353	0,0199	0,221	0,883	0,00662	0,265
11	2,40	1,20	0,132	1,00	0,0360	0,100	1,80	0,0140	1,00
12	3,05	1,309	0,135	1,05	0,0349	0,157	2,84	0,0131	0,567
х	1,88 <sub>Г</sub>	0,63 <sub>Ме</sub>	0,077 <sub>Г</sub>	0,757 <sub>Г</sub>	0,0297 <sub>А</sub>	0,123 <sub>А</sub>	1,55 <sub>Г</sub>	0,008 <sub>Г</sub>	0,408 <sub>Г</sub>
Х <sub>Полоцк</sub>	13,3	6,03	0,451	4,44	0,187	0,299	17,8	0,046	3,58

Примечание: А — средняя арифметическая;  
Г — средняя геометрическая;  
Ме — медиана;  
Х<sub>Полоцк</sub> — фон для г. Полоцка по данным опробования 2006 г. (n = 17).

Статистическая обработка выборки данных распределения взвешенных микроэлементов в снеговых водах заповедника показывает, что с содержанием взвешенного вещества (зола взвеси) в высокой степени ( $r > +0,700$ ) достоверно коррелируют концентрации Be, Ti, Mn, Fe, Sr, Zr, Nb, Y, Ba, Yb. Наиболее высокая корреляция ( $r > +0,900$ ,  $p < 0,0001$ ) установлена для Be, Ti, Ba, Y, Yb. Таким образом, данная группа элементов в целом может быть отнесена к *условно-аномальному* типу нагрузки (большая концентрация в связи с большим выпадением из атмосферы вещества с кларковым содержанием элемента) [12]. Отчасти к данному типу нагрузки относятся и Cr, Ni ( $r = +0,500—0,700$ ). В слабой степени ( $r < +0,500$ ) с содержанием взвешенного вещества коррелируют V, Co, Cu, Zn, Sn, Pb — элементы, как правило, принимающие активное участие в процессах техногенеза и относящиеся в нашем случае, скорее всего, ко второму типу нагрузки — *собственно аномальному* (выпадение веществ с надкларковыми концентрациями). В рамках данной техногенной ассоциации отмечены тесные корреляционные связи Pb—Co ( $r = +0,0,808$ ,  $p < 0,002$ ), Pb—V ( $r = +0,925$ ,  $p < 0,0001$ ), Co—V ( $r = +0,915$ ,  $p < 0,0001$ ), Cu—Zn ( $r = +0,771$ ,  $p < 0,005$ ).

Сходные, но техногенно трансформированные закономерности были установлены ранее при изучении снегового покрова территории г. Полоцка. Так, количество выпадающей пыли (*условно-аномальный* тип нагрузки) в 2006 г. определяло распределение взвешенных Be, Ti, Co, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Yb ( $r > +0,700$ ) и, отчасти, Cr, Mn, Fe, Cu, Mo, Ag, Sn и Pb. В рамках второй ассоциации отмечались сильные корреляционные связи ( $r > +0,700$ ) между рядом входящих в неё химических элементов. В значительно меньшей степени от фактора «общая масса пыли» зависело содержание в снеговых водах города взвешенных V и Ni ( $r \leq +0,500$ ) — техногенной ассоциации химических элементов ( $r = +0,967$ ), распределение которых скорее было связано с наложением на *условно-аномальный* тип *собственно-аномального* типа нагрузки.

В таблице 7 приведена оценка доли отдельных взвешенных микроэлементов в общем их содержании (взвесь + раствор) в снеговых водах Березинского биосферного заповедника. Роль взвешенной составляющей заметно варьирует — от 7—13 % для Co, Zn, Pb до 24 % для Ni и 53 % для Cu.

Таблица 7 — Доля взвешенных микроэлементов в снеговых водах Березинского биосферного заповедника (11.03 2009 г.), %

Проба	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
1	11,3	10,0	58,3	8,67	21,6
2	2,29	12,3	13,0	3,24	2,89
3	4,14	10,7	38,6	8,26	5,91
4	8,41	10,1	63,1	17,3	4,67
5	4,63	36,8	53,8	8,77	7,73
6	6,76	35,7	58,2	5,87	3,21
7	21,6	22,4	55,5	10,6	4,83
8	16,8	36,8	47,3	8,41	7,46
9	14,1	30,5	65,7	22,6	3,52
10	6,05	14,9	55,3	12,4	2,31
11	28,6	44,4	59,0	10,2	9,09
12	25,9	25,9	63,6	9,73	5,37
<b>х<sub>d</sub></b>	<b>12,5</b>	<b>24,2</b>	<b>52,6</b>	<b>10,5</b>	<b>6,55</b>

### Заключение

В марте 2009 г. на 12 постоянных пробных площадках, расположенных в виде субмеридионального профиля на территории Березинского биосферного заповедника были отобраны пробы снеговых вод и взвесей.

Средняя минерализация снеговой воды (17,3 мг/л) Березинского биосферного заповедника примерно в 2,4 раза выше среднегодового показателя для осадков в целом (7,23 мг/л). Концентрации изученных макрокомпонентов снеговых вод варьируют по территории заповедника незначительно, в максимальной степени это отмечено для  $\text{Na}^+$  (в 3 раза) и  $\text{K}^+$  (в 3,5 раза). Снеговые воды Березинского биосферного заповедника в слабой степени загрязнены  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и в сильной —  $\text{NH}_4^+$  (градации шкалы загрязнения основываются на наблюдениях конца 1980-х гг.). С другой стороны, территория Березинского биосферного заповедника, наряду с г. Браславом, Березино, пос. Нарочь, может быть отнесена в настоящее время к наименее загрязненным  $\text{NH}_4^+$  территориям Республике Беларусь.

В целом можно отметить, что по сравнению с 1997 г. (время предыдущего эколого-геохимического опробования) среднее содержание в снеговых водах растворенного Ni практически не изменилось (0,8 мкг/л и 1,1 мкг/л соответственно), Cu и Zn — снизилось (3,9 мкг/л и <1 мкг/л; 31,4 мкг/л и 18,4 мкг/л соответственно), Cd — продолжает оставаться низким. С другой стороны, если в 1997 г. растворенный Pb в снеговых водах не отмечался, то в 2009 г. данный элемент был отмечен во всех пробах (1,0—11,2 мкг/л).

Сопоставление средних показателей загрязнения снегового покрова, полученных для территорий Березинского биосферного заповедника (2009 г.) и г. Полоцка (зима 2005/2006 гг.), позволяет говорить о фоновом уровне концентрации изученных взвешенных микроэлементов на заповедной территории. Так, на территории г. Полоцка в 2,4 раза больше Sn, в 4,9—6,3 раза — Be, Ti, Co, Y, Zr, Nb, Yb, в 7,1—11,9 раз — V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Sr, Ba, Pb. Максимальный контраст содержания (более 8,5 раза) установлен для Cr, Fe, Ni, Cu, Sr, Ba, Pb.

Установлено, что с содержанием взвешенного вещества (зола взвеси) в высокой степени ( $r > +0,700$ ) достоверно коррелируют концентрации взвешенных Be, Ti, Mn, Fe, Sr, Zr, Nb, Y, Ba, Yb. Наиболее высокая корреляция ( $r > +0,900$ ,  $p < 0,0001$ ) отмечена для Be, Ti, Ba, Y, Yb. Данная группа (ассоциация) элементов в целом может быть отнесена к условно-аномальному типу нагрузки. В слабой степени ( $r < +0,500$ ) с содержанием взвешенного вещества коррелируют V, Co, Cu, Zn, Sn, Pb — элементы, как правило, принимающие активное участие в процессах техногенеза и относящиеся в рассматриваемом случае к собственно-аномальному типу нагрузки.

### Литература

- 1 Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень. 2001 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. — Мн.: Минсктиппроект, 2002. — 232 с.
- 2 Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень. 2002 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. — Мн.: Минсктиппроект, 2003. — 248 с.
- 3 Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень. 2003 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. — Мн.: Минсктиппроект, 2004. — 264 с.
- 4 Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень. 2004 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. — Мн.: Минсктиппроект, 2005. — 285 с.
- 5 Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень. 2005 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. — Мн.: БелНИЦ «Экология», 2006. — 324 с.

- 6 Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень. 2006 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. — Мн.: Издательский центр БГУ, 2007. — 366 с.
7. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень. 2007 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. — Мн.: Минсктиппроект, 2008. — 376 с.
8. Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень. 2008 г. / Под ред. В. Ф. Логинова. — Мн., 2009. — 406 с.
- 9 Лесные ландшафты Беларуси: структурно-функциональная организация и устойчивость к техногенным нагрузкам / Под ред. Е. А. Сидоровича. — Мн., Навука і тэхніка, 1992. — 295 с.
- 10 Техногенное загрязнение лесных экосистем Беларуси / Под ред. Е. А. Сидоровича. — Мн., Навука і тэхніка, 1995. — 319 с.
- 11 **Лукашэў, О. В.** Эколого-геохимическое состояние поверхностных вод и речных отложений на территории Березинского биосферного заповедника / О. В. Лукашэў, В. М. Натаров, В. В. Савченко и др. // Природопользование. 2009. Вып. 15. С. 79—87.
- 12 Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др. — М.: Недра, 1990. — 335 с.