

УДК 502.3:550.47

## ТЕХНОФИЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЗАПАДНОУРАЛЬСКОЙ ТАЙГИ

© 2012 П.Н. Бахарев<sup>1</sup>, Е.А. Ворончихина<sup>2</sup>, С.И.Ильиных<sup>1</sup>, Н.М. Лоскутова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Государственный природный заповедник «Вишерский»

<sup>2</sup> Естественнонаучный институт

<sup>3</sup> Государственный природный заповедник «Басеги»

Поступила в редакцию 09.05.2012

Представлены результаты биогеохимического мониторинга за период 1994-2011 гг., выполняемого в рамках программы летописи природы на территории западноуральских горно-таежных заповедников «Басеги» и «Вишерский» (Пермский край). Основное внимание уделено накоплению технофильных химических элементов в компонентах экосистем. Установлена зависимость техногенного давления на особо охраняемые экосистемы от регионального уровня хозяйственной активности, свидетельствующая о ведущей роли в техногенной нагрузке местных источников загрязнения.

Ключевые слова: *таежные экосистемы, природные компоненты, химический состав, технофильные элементы, биогеохимические процессы*

Развитие промышленного сектора экономики наряду с положительными результатами зачастую сопровождается негативными экологическими процессами, обусловленными ростом техногенного давления на природную среду. Техногенную нагрузку испытывают не только промышленные территории. Благодаря атмосферному рассеиванию продуктов техногенеза данный процесс приобрел глобальный масштаб – результаты хозяйственной деятельности человека в той или иной степени обнаруживаются во всех планетарных экосистемах, включая особо охраняемые природные резерваты, выведенные из хозяйственного пользования для сохранения биологического потенциала регионов. Под влиянием техногенных процессов, изменяющих геохимические параметры природных компонентов, охраняемые экосистемы утрачивают естественную устойчивость. Это негативно отражается на уровне биоразнообразия и репродуктивном потенциале биома. В наибольшей степени подвержены техногенной нагрузке охраняемые территории, расположенные в старопромышленных регионах с длительной историей освоения, таких как

Западный Урал, в промышленной части которого созданы государственные природные заповедники (ГПЗ) «Басеги» и «Вишерский». Рассматриваемые природно-территориальные образования характеризуются сходством первичных природных условий – они охраняют горно-таежные экосистемы, однотипные по климатическому режиму, геологическим, биологическим характеристикам – но различаются удаленностью от источников техногенного атмосферного рассеивания и, как следствие, по уровню хозяйственного воздействия.

В научные программы заповедников включен раздел биогеохимического мониторинга, целью которого является контроль атмосферной нагрузки с оценкой ответных реакций биотических компонентов на техногенное давление, формирующееся вследствие выпадения технофильных элементов на охраняемую территорию. Наблюдения выполняются по стандартным методикам [1, 2], включающим отбор и химические анализы природных субстратов (снега, почв, фитомассы) на стационарных площадках. Аналитические данные систематизируются по принципу «время-место-компонент» и позволяют оценивать техногенную нагрузку в разрезе годовых и многолетних интервалов времени с учетом ее экосистемной принадлежности. Оценка атмосферного воздействия сопровождается контролем состояний почвенного и растительного покрова. Банк данных, сформированный за период наблюдений, позволяет перейти к анализу накопленной информации. В обобщенном виде результаты оценки атмосферной нагрузки, выраженные суммарным объемом

*Бахарев Павел Николаевич, директор. E-mail: zapV@inbox.ru*

*Ворончихина Евгения Александровна, кандидат географических наук, доцент. E-mail: Voronchihina-ea@yandex.ru*

*Ильиных Сергей Иванович, научный сотрудник. E-mail: zapV@inbox.ru*

*Лоскутова Надежда Михайловна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник. E-mail: zapbasegi@rumbler.ru*

технофильных элементов, поступающих в охраняемые резерваты с воздушными потоками, представлены ниже на рис. 1 и в таблицах 1-3.

Количественные характеристики атмосферной нагрузки свидетельствуют о неоднородности техногенного влияния на рассматриваемые природные объекты в пространственном и временном аспектах. Это наглядно иллюстрирует приведенная ниже диаграмма средних годовых объемов атмосферного выпадения химических элементов на заповедные территории.



**Рис. 1.** Расчетный, нормативный (фоновый) и фактический среднегодовые объемы выпадения технофильных элементов из атмосферы на особо охраняемые горно-таежные территории Западного Урала

В связи с отсутствием официальных количественных показателей для оценки суммарной атмосферной нагрузки при интерпретации результатов наблюдений использованы базовые показатели, полученные расчетным путем: ФУ – фоновый уровень атмосферной нагрузки; РО – расчетный объем естественного атмосферного выпадения химических элементов. Первый показатель – ФУ – рассчитан по элементному составу атмосферной пыли в европейской России [3] с учетом среднего годового объема ее выпадения в границах заповедников. Значения второго показателя – РО – являются производными от объема минеральной пыли, поступающей в воздушную среду вследствие природного источника – дефляции почвенного субстрата. Оба показателя, полученные расчетным путем, для значительной части элементов в составе атмосферной нагрузки имеют близкие количественные значения, что подтверждает их объективность (табл. 1).

**Таблица 1.** Состав элементов и их концентрация в атмосферных потоках, поступающих в охраняемые экосистемы

Элемент	Расчетный объем естественного рассеивания (РО), г/га в год	Фоновый уровень (ФУ) [3], г/га в год	Средняя за пятилетия кратность превышения расчетных показателей РО/ФУ фактическим объемом технофильных элементов, поступающих в охраняемые экосистемы					
			ГПЗ «Басеги»			ГПЗ «Вишерский»		
			1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2011	1995-1999	2010-2011
As	7,71	0,00	0/0	0,3/0	0,2/0	1,8/0	0/0	0/0
Be	3,59	0,00	0,1/0	0,1/0	0,2/0	0/0	0,03/0	0/0
Cd	0,31	0,30	0,8/0,9	9,1/9,2	4,5/4,6	7,7/7,8	0/0	5,8/5,9
Pb	23,92	53,82	2,7/1,2	9,1/4,1	6,0/2,7	1,2/0,5	0,9/0,4	0,3/0,2
Zn	50,23	364,78	15,6/2,2	53,5/7,3	42,3/5,8	5,4/0,7	7,2/1,0	9,9/1,5
Sb	2,99	0,00	0,3/0	0,8/0	1,1/0	1,1/0	0/0	1,2/0
Ni	65,78	34,09	0,6/1,1	1,1/2,1	0,5/1,0	0,2/0,5	0,1/0,3	0,2/0,5
Cu	17,94	59,80	3,1/0,9	17,5/5,3	5,6/1,7	4,5/1,4	0,7/0,5	4,3/1,4
Cr	56,21	31,10	2,1/3,7	8,1/14,7	3,2/5,8	0,1/0,5	0,5/0,9	0,1/0,2
Sr	227,24	0,00	0,1/0	0,5/0,8	1,9/0	0,3/0	0,2/0	0,9/0
V	59,80	29,90	0,5/0,9	2,1/4,1	2,6/5,1	0,2/0,4	0,2/0,4	0,1/0,2
Mn	508,30	310,96	1,1/1,7	2,3/3,7	0,9/1,5	1,1/1,8	0,5/0,7	0,9/1,4

Сравнительный анализ расчетных и фактических данных свидетельствует, что в начальный период наблюдений (в 1995-1999 гг.) атмосферные потоки, поступающие в ГПЗ «Басеги», имели более высокую элементную насыщенность по сравнению с теми, которые распространялись на ГПЗ «Вишерский». Их состав выражался геохимической ассоциацией с доминированием цинка, объем атмосферного поступления которого в экосистемы ГПЗ «Басеги» в

среднегодовом выражении в 16 раз превышал расчетный фоновый показатель РО:  $Zn_{16/2} > Pb_{3/1} > Cr_{2/4} > Cu_{3/1} > Mn, V, Ni \dots$  На протяжении того же пятилетия (1995-1999 гг.) объем выпадения технофильных элементов в ГПЗ «Вишерский» был на уровне или ниже расчетных фоновых показателей, свидетельствуя о естественном геохимическом режиме развития горно-таежных экосистем.

В конце 90-х гг. ситуация начала меняться. Суммарный объем атмосферного поступления химических элементов на территорию ГПЗ «Басеги» увеличился в разы и держался на высоком уровне до 2007 г. Наиболее напряженным был 2004 г., когда суммарный объем выпадения технофильных элементов достиг 7528,7 г/га (при фоновой норме 1024,0 г/га). В последующие годы наметилась тенденция к снижению нагрузки, которая в ГПЗ «Басеги» продолжается до настоящего времени. В 2010-2011 гг. в противовес сокращению объема атмосферного рассеивания, характерного для ГПЗ «Басеги», зафиксировано нарастание техногенной нагрузки на экосистемы ГПЗ «Вишерский». Наиболее существенную роль в этом сыграло увеличение концентрации цинка в атмосферическом потоке (см. в табл.1). Изменения проявились не только в объемах выпадения элементов, но и в структуре нагрузки, обусловившей различия геохимических ассоциаций:

- в ГПЗ «Басеги» –  $Cd_{8/8} > Zn_{5/1} > Cu_{5/1} > Mn_{1/2} > As_2 > Pb, Cr, V...$
- в ГПЗ «Вишерский» –  $Zn_{10/2} > Cd_{6/6} > Cu_{4/1} > Mn_1 > Pb, Cr, V...$

Изменение состава технофильных элементов в атмосферической нагрузке и увеличение объемов рассеивания в ГПЗ «Вишерский»

свидетельствуют о смещении техногенного ареала в северном направлении. По времени проявления изменения совпали с активизацией освоения запасов северной части Верхнекамского месторождения ископаемых солей, поэтому могут рассматриваться как следствие региональной хозяйственной деятельности.

Специфику выявленных геохимических ассоциаций определяют тяжелые металлы. Их экологическая опасность обусловлена склонностью к биопоглощению и устойчивостью в природной среде, поэтому даже небольшие по объему, но длительные по времени атмосферические нагрузки могут привести к формированию техногенных геохимических аномалий с необратимыми экологическими деформациями. Роль важнейшего природного субстрата, аккумулирующего технофильные элементы, играет насыщенный органическим веществом верхний слой почвы, включающий генетические горизонты  $A_0$  (подстилка) и  $A_1A_2$  (гумусово-аккумулятивный). При равной атмосферической нагрузке адсорбционной емкостью именно этого биогеохимического барьера определяется возможность формирования очага загрязнения, поэтому программой мониторинга предусмотрен контроль аккумуляции элементов в почвенном субстрате (табл. 2).

**Таблица 2.** Среднее за пятилетия содержание элементов в почвенном субстрате, в мг/кг сухой почвы

Элемент	Кларк для почв [6]	ГПЗ «Басеги»				ГПЗ «Вишерский»			
		1995-2000 гг.		2006-2010 гг.		1995-2000 гг.		2006-2010 гг.	
		$A_0$	$A_1A_2$	$A_0$	$A_1A_2$	$A_0$	$A_1A_2$	$A_0$	$A_1A_2$
As	12,00	0,00	0,00	2,97	2,41	0,00	0,00	3,33	2,23
Be	6,00	0,61	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95	1,60
Cd	0,52	0,31	0,16	0,37	0,41	0,00	0,00	0,34	0,23
Pb	40,00	38,35	26,51	31,70	32,84	18,56	18,01	24,58	17,36
Zn	84,00	105,17	102,58	251,62	128,98	71,18	67,93	76,72	68,25
Sb	5,00	0,00	0,00	1,44	1,37	0,13	0,21	0,78	0,47
Ni	110,00	20,71	31,25	42,68	40,16	19,43	29,06	18,92	29,13
Cu	30,00	24,18	31,83	25,43	34,91	11,32	19,21	13,28	18,33
Cr	94,00	59,10	121,58	92,43	162,03	36,91	69,64	49,22	87,53
Sr	380,00	47,00	98,16	68,31	102,17	49,77	54,17	88,89	72,48
V	100,00	36,83	93,17	90,36	116,78	73,56	97,15	71,98	97,76
Mn	850,00	1275,00	1218,85	2139,00	2112,00	864,17	733,90	1000,14	807,80
Всего	1776,52	1607,36	1724,96	2746,31	2734,06	1177,54	1089,29	1349,13	1203,17

Наблюдения выявили почвенную аккумуляцию технофильных элементов в ГПЗ «Басеги», где суммарная элементная насыщенность почв к 2010 г. относительно 1995 г. увеличилась в полтора раза. В составе накапливающихся элементов преобладает цинк с коэффициентом концентрации 2,98 (в горизонте  $A_0$ ), 1,54 (в горизонте  $A_1A_2$ ). Столь существенное превышение элементной насыщенности верхнего почвенного горизонта над ниже расположенным свидетельствует об атмосферном поступлении цинка в почву. В текущий период (2010-2011 гг.) почвенно-геохимическая ассоциация элементов

включает:  $Zn_{3,0} > Mn_{2,5} > Cr_{1,7} > Cu, V_{1,2} > Cd_{1} > Pb, Ni, As...$  Существенные отличия почвенно-геохимической ассоциации элементов от атмосферической являются результатом пролонгированности последствий техногенного рассеивания предыдущих лет, которое привело к устойчивому обогащению почвенно-биотических компонентов охраняемых экосистем цинком и марганцем. Пролонгированность техногенного давления на экосистемы отчетливо проявляется при сопоставлении уровней нагрузки на компоненты экосистем, рассчитанных по суммарному показателю химического загрязнения -  $Z_C$  [4, 5].

Значения  $Z_C$  свидетельствуют, что снижение объемов атмосферического выпадения элементов

не сопровождается уменьшением их концентрации в почвах и растительности (табл. 3).

**Таблица 3.** Оценка экологической нагрузки на компоненты охраняемых экосистем по суммарному показателю загрязнения ( $Z_C$ )

Природные компоненты	Средние для пятилетних значения $Z_C$ (предел нормы 16,0)					
	ГПЗ «Басеги»				ГПЗ «Вишерский»	
	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2011	1995-1999	2010-2011
атмосферные осадки (пыль)	13,0	60,5	32,5	13,0	3,5	12,5
почва	1,6	2,1	2,7	3,1	1,0	1,2
растительность (листва <i>Betula pubescens</i> )	2,1	2,9	2,9	2,7	1,5	2,9

**Выводы:** наблюдения показали, что рассматриваемые экосистемы, несмотря на изъятие из хозяйственного оборота, испытывают существенную техногенную нагрузку вследствие атмосферического переноса загрязнителей. Уровень нагрузки определяется близостью источников техногенного рассеивания и в наибольшей степени проявился в экосистемах ГПЗ «Басеги», длительное время находившегося в ареале рассеивания объектов добычи и переработки углей Кизеловского бассейна и других промышленных объектов. Атмосферическое воздействие, оцененное по показателю  $Z_C$  применительно к содержанию технофильных элементов в атмосферных потоках, за годы наблюдений менялось в пределах категорий «чрезвычайное» / «удовлетворительное». На фоне «пульсирующей» динамики экологического состояния воздушной среды насыщенность технофильными элементами почв и растительности на протяжении всего

периода характеризовалась единой устойчивой тенденцией к обогащению.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Алексеев, В.А. Экологическая геохимия. – М., 2000. 627 с.
2. Ворончихина, Е.А. Основы ландшафтной хемоэкологии: учебное пособие / Е.А. Ворончихина, Е.А. Ларионова. – Пермь: Перм.ун-т, 2002. 146 с.
3. Саев, Ю.А. Геохимия окружающей среды / Ю.А. Саев и др. – М.: Недра, 1990. 335 с.
4. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Утв. ГНТУ Минприроды РФ 30.11.1992. – М., 1992. 54 с.
5. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. СанПиН 2.1.7-1287-03. – М., 2007. 12 с.
6. Овчинников, Л.Н. Прикладная геохимия. – М.: Недра, 1990. 248 с.

## TECHNOGENIC ELEMENTS IN ESPECIALLY PROTECTED ECOSYSTEMS OF WEST URAL TAIGA

© 2012 P.N. Bakharev<sup>1</sup>, E.A. Voronchikhina<sup>2</sup>, S.I. Ilyinykh<sup>1</sup>, N.M. Loskutova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> State Natural Reserve "Vishera"

<sup>2</sup> Natural Scientific Institute

<sup>3</sup> State Natural Reserve "Basegi"

Results of biogeochemical monitoring during 1994-2011, carried out within the program of nature chronicles in the territory of West Ural mountain and taiga reserves "Basegi" and "Vishersky" (Permskiy Krai) are presented. The main attention is given to accumulation of technogenic chemical elements in components of ecosystems. Dependence of technogenic pressure upon especially protected ecosystems on regional level of the economic activity, testifying to the leading role in technogenic loading of local polluters is established.

Key words: *taiga ecosystems, natural components, chemical composition, technogenic elements, biogeochemical processes*

Pavel Bakharev, Director. E-mail: zapV@inbox.ru

Evgeniya Voronchikhina, Candidate of Geography, Associate Professor.

E-mail: Voronchikhina-ea@yandex.ru

Sergey Ilyinykh, Research Fellow. E-mail: zapV@inbox.ru

Nadezhda Loskutova, Candidate of Biology, Leading Research Fellow.

E-mail: zapbasegi@rumbler.ru