

Техногенные биогеохимические процессы в Пермском крае

Technogenic biogeochemical processes in the Perm Territory

МАКСИМОВИЧ Н.Г.

Зам. директора по научной работе Естественно-научного института Пермского государственного университета (ЕНИ ПГУ),
nmax@psu.ru

ВОРОНЧИХИНА Е.А.

Старший научный сотрудник Естественно-научного института Пермского государственного университета (ЕНИ ПГУ),
Voronchihina-EA@yandex.ru

ХАЙРУЛИНА Е.А.

Старший научный сотрудник Естественно-научного института Пермского государственного университета (ЕНИ ПГУ),
khayrulina@psu.ru

ЖЕКИН А.В.

Научный сотрудник Естественно-научного института Пермского государственного университета (ЕНИ ПГУ),
zhal73@mail.ru

MAKSIMOVICH N.G., VORONCHIHINA E.A., KHAYRULINA E.A., ZHEKIN A.V.

Natural Science
Institute of Perm
State University

Ключевые слова: биогеохимический мониторинг; природные заповедники; техногенные биогеохимические аномалии.

Аннотация: в статье приведены результаты многолетних наблюдений за биогеохимическими процессами, происходящими в естественных экосистемах Пермского края под влиянием промышленной нагрузки. Рассмотрена специфика рассеивания загрязняющих ингредиентов, особенности их миграции в природной среде, включая перераспределение, накопление и функциональное влияние на биогенные компоненты. Дана оценка современного состояния и экологических последствий загрязнения природной среды тяжелыми металлами.

Key words: biogeochemical monitoring; nature reserves; technogenic biogeochemical anomalies.

Abstract: the article describes the results of long-term observations of biogeochemical processes occurring in natural ecosystems of the Perm Territory under technogenic influence. It considers dispersion specificity of the polluting ingredients, peculiarities of their migration in the environment including redistribution, accumulation and functional influence on biogene components. The paper estimates current state and ecological consequences of the environment pollution by heavy metals.

Введение

В Пермском крае, в состав которого входит 25 городов, несмотря на его относительно небольшую площадь (160,6 тыс. км², или 1% площади РФ), представлены разнообразные природные условия. В тектоническом отношении данный регион находится на стыке Восточно-Европейской платформы и Центрально-Уральского поднятия, соединяясь с последним через Предуральский краевой прогиб и передовую складчатую зону Урала. Это определяет наличие горных пород различного возраста и происхождения и большое разнообразие полезных ископаемых (рис. 1). Около 30% территории занимают карстующиеся породы: карбонаты, сульфаты, соли. Размещение края в пределах умеренного пояса, его значительная протяженность в меридиональном направлении и сложный рельеф обуславливают наличие широтной и высотной зональности. На территории Пермского края представлены зоны тайги, подтайги и горной тундры. Практически весь регион является водосборной площадью реки Камы — крупнейшего притока реки Волги. В пределах края на р. Каме созданы два крупных водохранилища — Камское и Воткинское. Все это обуславливает разнообразие природных условий и видов промышленного хозяйствования, а

соответственно и разнообразие техногенного воздействия на окружающую среду и ее ответных реакций.

Пермский край — старый промышленный регион с длительной историей освоения, начало которой положено еще в XV в. (солеварением). Первые солеварни, построенные купцами Строгановыми на севере края, послужили мощным стимулом для притока сюда экономически активного населения и соответственно для хозяйственного развития всего региона. Вскоре после открытия месторождений соли были найдены залежи медистых песчаников, на базе которых в 1640 г. был построен «первенец» пермской металлургии — Пыскорский медеплавильный завод. В XVIII в. в рассматриваемом регионе было открыто 16 рудных месторождений на рр. Кама, Чусовая и Сытва, с освоением которых началось зарождение крупнейших металлургических центров в г. Перми, Чусовом и др. Выплавка металла требовала значительных энергозатрат, которые компенсировались отжигом древесного угля, ставшим основой третьей промышленной отрасли края. Следы углехозяйства до настоящего времени повсеместно обнаруживаются в почвенном слое территории первичного освоения. К концу XVIII в. на смену древесному пришел каменный уголь. Его месторождения были открыты в 1786 г. в пределах Кизеловского

бассейна, интенсивное промышленное освоение которого началось в XX в.

1929 год ознаменовался открытием пермской нефти. В настоящее время ее добыча осуществляется на 800 скважинах. Помимо нефти добываются и перерабатываются калийно-магниево-натриевые соли, строительные материалы, драгоценные и поделочные камни, золото и платина, хромовые руды, металлургическое и цементное сырье и другие полезные ископаемые. Природные ресурсы края являются основой развития химии и нефтехимии, электроэнергетики, машиностроения, металлообработки, лесной, целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей и горнодобывающей промышленности.

В 1990-е гг. Кизеловский угольный бассейн был закрыт, после чего остались серьезные экологические проблемы из-за изливов кислотных шахтных вод (рН ≈ 3) в поверхностные водотоки (рис. 2) и отвалы пород. Объем этих изливов составляет 16 млн м³ в год. Содержание железа более чем в 3000 раз превышает ПДК, марганца — более чем в 800 раз. Наблюдаются значительные превышения по многим микроэлементам.

Уровень ресурсообеспеченности и хозяйственной освоенности вывел Пермский край в число наиболее промышленно развитых регионов России, но вместе с тем он не мог не оказать существенного влияния на его природно-экологический потенциал. Объекты хозяйственной деятельности оказывают глубокое биогеохимическое воздействие на биоту, включая человека, и на среду обитания в целом. Последствия этого воздействия отдалены по времени, очень слабо изучены и относятся к разряду проблем, названных на Международном экологическом форуме в Рио-де-Жанейро (1992) «миной замедленного действия» [18].

Именно поэтому изучение биогеохимических деформаций природной среды является одним из важнейших направлений научных исследований, выполняемых в Естественно-научном институте Пермского государственного

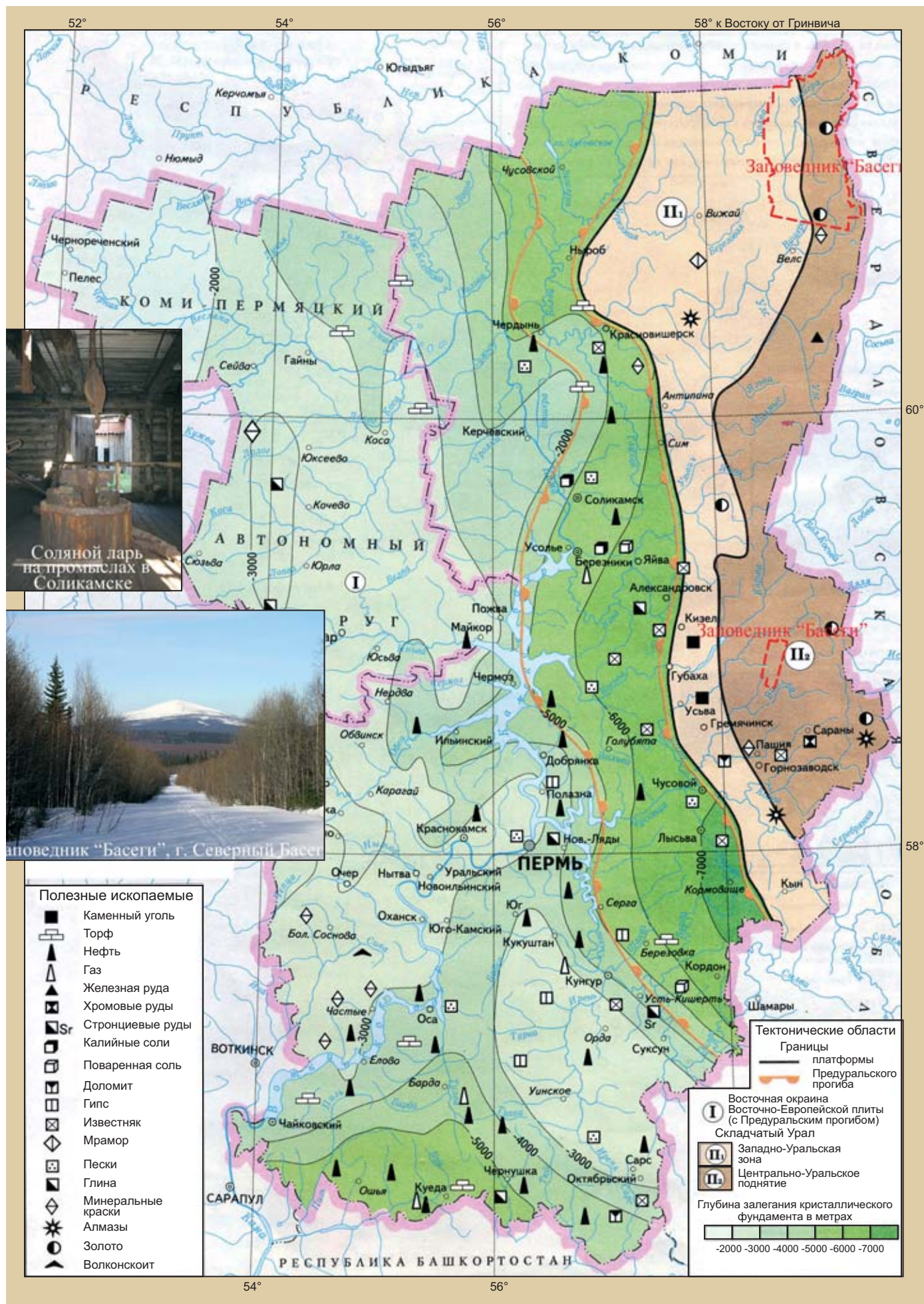


Рис. 1. Тектоника и полезные ископаемые Пермского края [2]

университета. В наиболее общем виде данные исследования подразделяются на два раздела: (1) изучение естественных биогеохимических процессов на базе особо охраняемых природных резерватов; (2) оценка биогеохимического состояния территорий промышленного воздействия. В первом случае территориальными объектами служат экосистемы природных резерватов федерального уровня — государственных природных заповедников «Басеги» и «Вишерский». Биогеохимический мониторинг включен в научные программы этих заповедников и выполняется с 1994 г. [3-6, 17, 19]. На промышленных территориях биогеохимические деформации изучаются с 80-х гг. прошлого века применительно к разным видам воздействия, включая угле- и нефтедобычу, горнодобывающие работы по освоению месторождений золота и алмазов, добычу и переработку солей и т.д. [3, 9, 11, 12, 16]. В последнее десятилетие были развернуты расширенные иссле-

дования в ареалах поликомпонентного загрязнения в пределах крупных промышленно-хозяйственных объектов на урбанизированных территориях [5, 6].

Методика исследований

Программа мониторинга предусматривает наблюдения за изменением концентраций элементов-загрязнителей в компонентах природной среды. Из первоначально контролируемого спектра, включающего 39 химических элементов, в процессе многолетних наблюдений были вычлнены загрязнители, формирующие региональную специфику техногенной нагрузки. В их число вошли важнейшие технофильные (т.е. широко используемые в промышленности) элементы: Ni, Co, Cr, Mn, V, Cu, Zn, Pb, Cd, Sb. Все они относятся к группе тяжелых металлов. По совокупности природных свойств, за исключением Cr и V, это катионогенные элементы. Для экосистем Пермского

края, характеризующихся преимущественно кислой средой, данные металлы представляют наибольшую экологическую опасность, поскольку именно в кислых условиях они обладают наиболее высокой миграционной активностью, вовлекаются в биогеохимические процессы, концентрируясь в пищевых цепях и на естественных миграционных барьерах в пределах биогеохимического круговорота.

Биогеохимические исследования опирались на стандартную программу, предполагающую сезонно обусловленные наблюдения на стационарных площадках с отбором и последующей обработкой компонентных проб: снега, почвенного субстрата (по генетическим горизонтам), зеленой фитомассы (хвои ели и пихты, листья березы). Отбор и обработка проб выполнялись по стандартным методикам [1, 8]. Всего на территории края размещено 18 стационарных площадок мониторинга. Кроме того, биогеохимическая информация еже-



Рис. 2. Самоизлив на бывшей шахте Калинина на территории Кизеловского угольного бассейна

годно пополняется данными, полученными на временных участках наблюдений — объектах прикладных исследований, включающих оценку биогеохимического состояния территорий при реализации хозяйственных проектов.

Накопленная информация позволила сформировать банк данных по биогеохимическим особенностям природных комплексов Пермского края — достаточный, чтобы перейти к оценке экологических изменений, происходящих под влиянием хозяйственной деятельности. Основное внимание в исследованиях уделяется динамике атмосферического рассеивания загрязняющих ингредиентов, их миграции в природной среде, включая перераспределение, накопление и функциональное влияние на биогенные компоненты.

Результаты биогеохимического мониторинга в заповедных экосистемах

Обобщение полученных материалов показало тесную связь атмосферических процессов с производственной активностью промышленно-хозяйственного сектора не только Пермского края, но и прилегающих регионов. Загрязняющая нагрузка, формирующаяся вследствие выбросов региональных источников техногенного рассеивания, накладывается на трансграничные потоки технофильных элементов, поэтому границы локальных геохимических очагов в настоящее время размыты. Данное обстоятельство позволяет заключить, что рассматриваемый вид загрязнения вышел на межрегиональный уровень.

Это хорошо иллюстрируется элементной насыщенностью атмосферических потоков за пределами промышленных территорий, например, в государственном природном заповеднике «Басеги» (ГПЗ «Басеги») (рис. 3). На рис. 3 видно, что объемы атмосферического рассеивания загрязнителей, выраженные содержанием технофильных элементов в атмосферной пыли, в период наблюдений изменялись весьма существенно и пропорционально уровню промышленной активности. При промышленном спаде объем загрязняющих ингредиентов снижался, при подъеме — возрастал. В период 1994–1999 гг. объем атмосферического рассеивания был минимальным. По данным наблюдений на шести площадках мониторинга в ГПЗ «Басеги», он выражался значениями от 110 до 601 г/га в год. На стадии промышленного подъема, в 2003–2004 гг., объемы выпадения технофильных элементов увеличились, достигнув максимальных значений — 857–3860 г/га в год, т.е. нагрузка возросла пятикратно. С 2006 г. отчетливо проявилась тенденция сокращения атмосферического потока, а в 2008 г. суммарный объем выпадения элементов-

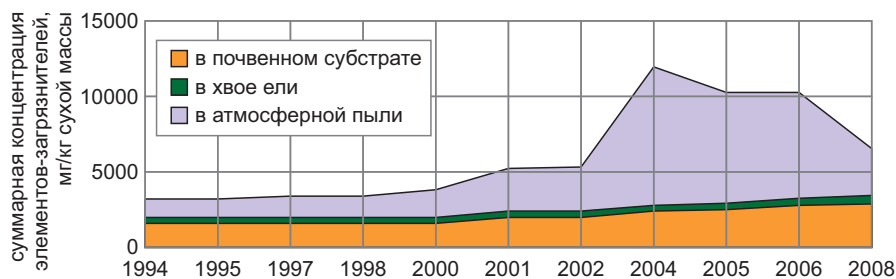


Рис. 3. Атмосферическая нагрузка в экосистемах ГПЗ «Басеги»

загрязнителей на заповедную территорию приблизился к уровню 2001 г.

Распределение загрязняющей нагрузки в биогенных компонентах экосистем (в почвенном и растительном покрове) не давало пиковых значений, аналогичных отмеченным для атмосферического потока. На протяжении всего периода наблюдений элементная насыщенность почвенного субстрата и фитомассы медленно нарастала. На начало периода наблюдений суммарная концентрация технофильных элементов в верхнем аккумулятивном горизонте почвенного покрова составляла 1620 ± 370 мг/кг сухого субстрата, а к 2008 г. она увеличилась до 2860 ± 410 . Аналогичным образом изменялась и элементная насыщенность фитомассы (см. рис. 3).

Освоение атмосферического потока природными экосистемами существенно трансформируется физико-химическими условиями и структурой биотических компонентов, поэтому дает весьма неоднородную картину распределения. За прошедший период наблюдений на шести площадках мониторинга в ГПЗ «Басеги» наиболее высокий уровень концентрирования элементов-загрязнителей выявлен на площадке, приуроченной к подветренному склону хребта Басеги и характеризующей состояние горно-таежной экосистемы (рис. 4). Именно здесь зафиксирована максимальная концентрация загрязняющих элементов в биотических компонентах экосистемы, что свидетельствует об активном формировании очага загрязнения — техногенной биогеохимической аномалии.

Наращение техногенной нагрузки сопровождалось изменениями в ее элементной структуре. В последнее пятилетие приоритетные позиции в атмосферическом потоке занял Zn, существенно опередив «лидеров» предыдущего пятилетия V, Pb и Cr. Соответственно изменению атмосферической нагрузки трансформировался и микроэлементный состав природных субстратов (в первую очередь почвенного).

Количественный объем загрязнения не отражает истинной опасности техногенной нагрузки. Для оценки экологической опасности формирующейся аномалии были использованы коэффициенты концентрации технофильных элементов в компонентах экосистемы K_K , которые рассчитывались согласно апробированной методике [1, 8, 16] по

соотношению содержания элементов в зольном остатке компонентного субстрата и их кларков. Полученные расчетные значения коэффициентов K_K послужили основой для построения рядов поглощения элементов-загрязнителей для компонентов экосистемы ГПЗ «Басеги»:

K_K для почвы:

$$Cd_{18} > Pb_{14} > Zn_7 > Mn_6 > Cr_5 > Ni_3 >$$

$$V_{1,8} > Cu_{1,4} > Co, Sb_{1,2} \dots;$$

K_K для фитомассы:

$$Zn_{55} > Mn_{32} > Cd_{16} > Ni, Cr_{14} > Cu_{11} >$$

$$Pb_5 > Co_4 > V, Sb_2 \dots;$$

K_K для зоомассы:

$$Mn_{441} > Cr, Zn_{13} > Cu_{10} > Cd, Pb_5 >$$

$$V_{4,5} > Ni_2 > Co, Sb_{1,1} \dots$$

Анализ рядов поглощения позволяет заключить, что наибольшую экологическую опасность для рассматриваемой таежной экосистемы представляют пять технофильных элементов, характеризующихся наиболее высокими коэффициентами концентрации, — Cd, Zn, Pb, Mn, Cr. Если рассматривать уровень опасности по высшему звену биогеохимического круговорота — зоомассе (в данном случае были взяты мелкие млекопитающие), то наиболее угрожающе выглядит Mn, коэффициент концентрации которого в биосубстратах наиболее высок ($K_K = 441$). Однако Mn относится к технофильным элементам 3-го класса экологической опасности — и данное обстоятельство существенно занижает уровень экологической угрозы от его накопления в природном субстрате.

Меньше представлены в атмосферическом потоке наиболее опасные элементы (1-го класса экологической опасности) — Cd, Pb, Zn. Первые два (Cd и Pb) поступают в заповедные экосистемы в очень незначительных объемах, но тем не менее прочно аккумулируются в почве, фито- и зоомассе с коэффициентами концентрации от 5 до 55. Из рассмотренных компонентов экосистем максимальное накопление Cd (K_K



Рис. 5. Стоки с галитовых отвалов калийного производства

= 18) и Pb ($K_K = 14$) происходит в почве, что снижает поступление этих элементов с геохимическим потоком в биологический круговорот. Адсорбционная роль почвы по отношению к Zn ($K_K =$

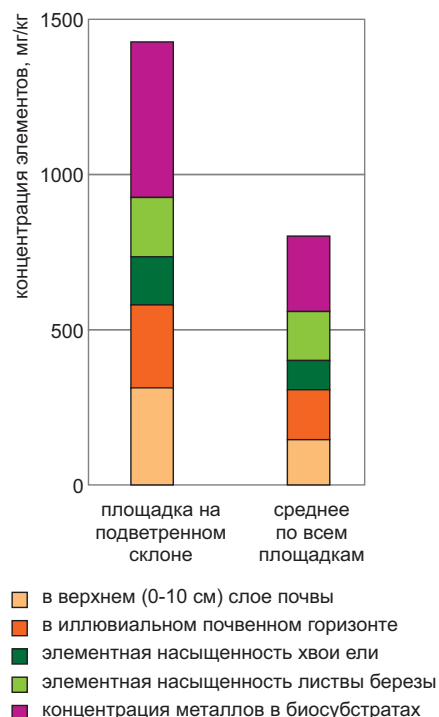


Рис. 4. Элементарная нагрузка в экосистемах ГПЗ «Басеги» (средние данные за 1994–2008 гг.)

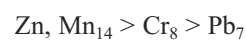
7) понижена, и данный элемент накапливается преимущественно в фитомассе ($K_K = 55$). Выявленная закономерность вполне объяснима, она обусловлена преимущественно кислой реакцией почвенной среды, стимулирующей миграционную активность Zn и способствующей его вовлечению в биогеохимический круговорот с приоритетным насыщением высших звеньев.

Концентрации экологически опасных элементов в биогенных субстратах год от года нарастают даже при незначительных объемах поступления в связи с высокой устойчивостью их в природных соединениях (период их полуудаления из биомассы составляет: для Cd — 32; для Zn — 310; для Pb — 5920 лет). По выражению основоположника экологической геохимии А.И. Перельмана [15], данные элементы, будучи вовлеченными в биологический круговорот, имеют крайне мало шансов его покинуть, накапливаясь в пищевой цепи по направлению вверх с коэффициентами концентрации до 150 000 (для Pb) относительно кларка.

Результаты биогеохимического мониторинга в техногенно преобразованных экосистемах

На фоне межрегионального загрязнения формируются локальные урбопромышленные биогеохимические аномалии. Их спектр для Пермского края

весьма пестр. Вследствие добычи и переработки угля в границах ликвидированного Кизеловского угольного бассейна сформировалась сернокислотно-редкоземельная аномалия. Помимо редкоземельных элементов, очень слабо изученных с экологической точки зрения, в составе верхней части почвенного профиля наблюдается повышенное содержание технофильных элементов, ряд поглощения которых существенно отличается от рассмотренного выше для ГПЗ «Басеги». Приоритетным загрязнителем в нем выступает V ($K_K = 52$). Далее следуют:



и другие элементы, представленные в меньшей степени.

Своеобразная экологическая обстановка складывается на расположенном в Пермском крае Верхнекамском месторождении калийно-магниевого солей — одном из крупнейших в мире по их запасам. Освоение месторождения началось в 1934 г., объемы добычи на нем постоянно увеличиваются, при этом совершенствуются технологии переработки и расширяется спектр извлекаемых солевых ингредиентов. Вместе с тем длительная история освоения данного месторождения не могла не наложить отпечаток на со-



Рис. 6. Соленое болото в ареале воздействия калийного рудника

стояние всех природообразующих компонентов в пределах ареала промышленного воздействия. И в перспективе нагрузка на природную среду будет возрастать.

Геохимическое своеобразие экологической обстановки, формирующейся в ареале промышленного воздействия Верхнекамского месторождения, обусловлено техногенным засолением, химические характеристики которого являются производными от природного состава солевой толщи. По химической принадлежности данное месторождение относится к хлоридному типу. Добываемые сильвин-галит-карналлитовые соли наряду с полезными ингредиентами (хлоридами магния, калия и натрия) обогащены микропримесями. По данным спектрального анализа средний статистический состав верхнекамских солей содержит свыше 5 кг/т микропримесей, из которых преобладают: Fe (4000 г/т); Br (680); Mn (300); Sr (50); B (30); Ti (20); Cu (5); Li (3); Rb (2). Полезными извлекаемыми компонентами являются соли калия и магния. Соли натрия складываются в отвалы, которых накопилось 270 млн т (рис. 5).

Другой экологической проблемой является образование в процессе получения товарной продукции большого объема глинисто-солевых отходов, которые размещаются в шламохранилищах и солеотвалах. Общее их количество составляет 150 млн т [14].

Соли и микропримеси, накапливаемые в отвалах, под влиянием эрозии и инфильтрации поступают со сточными водами в поверхностные водотоки. Соли из шламонакопителей за счет инфильтрации поступают в подземные воды и разгружаются в местные дрены. Все это ведет к концентрации солей и микропримесей в донных отложениях и на участках техногенного заболачивания (рис. 6).

Обследование промышленно освоенной территории рассматриваемого месторождения, выполненное в 2005-2009 гг., показало, что в ареалах рассеивания формируются участки локального солевого загрязнения. Концентрации водо-

растворимых солей в почвах и донных отложениях поверхностных водотоков превышают допустимый уровень, соответствующая с учетом состава солей «сильной» степени засоления. Тип засоления является содово-сульфатным.

Наибольшие отклонения от фонового уровня по макрокомпонентному составу характерны для донных отложений речных водотоков на участках влияния шламохранилищ. Их минерализация превышает фоновую в 7,5-8 раз. Гидрокарбонатный состав фациального фона сменился на сульфатный и хлоридно-сульфатный, что не свойственно зональным условиям. Под влиянием рассеивания солевых ингре-

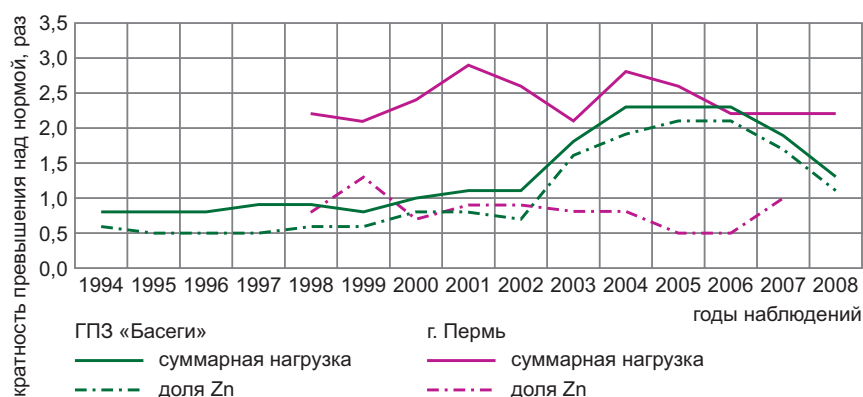


Рис. 7. Атмосферическая нагрузка в природной (ГПЗ «Басеги») и промышленно-урбанизированной (г. Пермь) экосистемах

диентов происходит изменение реакции почвенной среды в сторону подщелачивания (рН на участках засоления составляет 7,0-7,4). Солевой стресс в сочетании с изменением рН сопровождается гибелью типичных тяжелых видов растений, однако стимулирует захват освобождающихся эко-топов солеустойчивыми ассоциациями с высокой фитопродуктивностью, что создает видимость экологического благополучия (см. рис. 3).

Изменения характерны не только для макро-, но и для микроэлементного состава почв и донных отложений. В микроэлементной части химического спектра наблюдается концентрирование Rb и Sr. По состоянию на летний период 2009 г. коэффициенты концентрации Rb и Sr в почвенном субстрате превышали фон до трех раз ($K_K = 1,2-3,0$). Это свидетельствует о формировании специфической щелочно-металлической биогеохимической аномалии, развивающейся под влиянием двух факторов — повышенной концентрации Rb в промышленном шламе и подщелачивания почвенной среды, вызывающей его осаждение. Из почв Rb легко поглощается растительностью. Его физиологическая роль в растениях обусловлена способностью замещать K в растительных клетках. Однако Rb неспособен осуществлять метаболические функции K, поэтому пагубно влияет на фитопродукционный процесс низкотолерантных видов растений. Устойчивы к данному загрязнителю только галофиты, которые концентрируют Rb в значительных количествах без видимых признаков ущерба. Для рассмотренных растительных ассоциаций, формирующихся на участках засоления, K_K для Rb колебался в интервале 4–7, что значительно выше почвенной концентрации.

Результаты биогеохимического мониторинга в урбопромышленных экосистемах

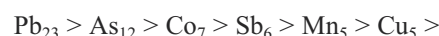
Поликомпонентная атмосферическая нагрузка на урбанизированных территориях городов ведет к формированию биогеохимических аномалий, наиболее сложных по составу, территориальному распределению ингредиентов и экологической опасности. Графики, представленные на рис. 7, наглядно показывают, насколько динамичнее атмосферические потоки в урбосистемах по сравнению с фоновыми.

В то время как фоновая региональная нагрузка, отслеженная в ГПЗ «Басеги», испытывала постоянный рост до 2007 г. (после чего началось ее снижение), локальный очаг урбоэкосистемы г. Перми показал два пиковых значения. В 2006-2007 гг. количественные показатели нагрузки для рассматриваемых территорий сравнялись, однако их элементная структура сохранила существенные различия. Приоритетным загрязнителем экосистем ГПЗ «Басеги» на протяжении всего периода наблюдений был Zn, объемы поступления которого в охраняемые экосистемы практически полностью повторяют контур суммарной элементной нагрузки (рис. 4). Для атмосферического потока, рассеиваемого в г. Перми, характерен более сложный и неоднородный во времени состав технофильных элементов, крайне дифференцированный в территориальном плане.

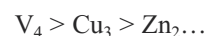
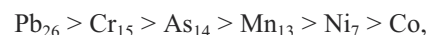
Наиболее адекватно и полно отражают элементную структуру биогеохимических аномалий, формирующихся в границах урбоэкосистем, акватории водохранилищ, расположенных в сфере влияния стоков с городских территорий. Имея замедленный водообмен, водохранилища являются ко-

нечными звеньями техногенной геохимической аккумуляции. Для урбоэкосистемы г. Перми таким конечным звеном является Воткинское водохранилище. Расположенное на основной водной артерии, реке Каме, ниже по течению от краевого центра, оно принимает основной объем стока с городской территории и накапливает в донных осадках технофильные элементы, характеризующие геохимическую специфику выбросов и сбросов промышленных объектов города (рис. 8). Причем в связи с особенностями осадко-накопления в донных отложениях концентрируются наиболее активные в миграционном плане загрязнители — водные мигранты. Значительная их часть не только поступает из атмосферических потоков, но и вымывается из почвенного субстрата, в котором остаются ингредиенты с низкой растворимостью, поэтому ряды распределения технофильных элементов в почвенном покрове и донных отложениях существенно различаются:

K_K для почвы:



K_K для донных отложений: $Sb_{183} >$



Таким образом, из рассматриваемых технофильных элементов приоритетными загрязнителями являются Sb, Pb, Cr, As и Mn. Именно эти элементы накапливаются в почвенном субстрате и донных отложениях с наиболее высокими коэффициентами концентрации.

Иную геохимическую специфику имеет Нижнезырянское водохранилище, расположенное в ареале загрязняющего влияния г. Березники (рис. 9) — второго по промышленному потенциалу в Пермском крае. Это водохранилище, аналогично Воткинскому, является своего рода стокосборником, отражающим особенности формирующейся здесь биогеохимической аномалии. Отличительная черта Нижнезырянского водохранилища — его сравнительно небольшая глубина (в среднем 2,1 м) при значительной мощности донных отложений (в среднем около 3 м). Общий объем этих отложений составляет 3500 тыс. м³. На фоне большой пестроты геохимического состава загрязняющих ингредиентов, выявленных в донных отложениях, доминируют пять технофильных элементов, имеющих наиболее высокие коэффициенты концентрации и возглавляющих ряд поглощения для донных отложений: $Cd_{50} > Pb_{27} > Zn_{12} > Co_6 > Ni_3 \dots$ С учетом средней насы-



Рис. 8. Донные отложения Воткинского водохранилища с включениями техногенных компонентов во время предпаводковой межени

ценности донных отложений и их мощности на текущий период в акватории Нижнезырянского водохранилища сконцентрировано: Cd — около 0,4 т; Co — 16,3; Pb — 49,4; Zn — 297,6; Ni — 344,5.

Наиболее высокой химической нагрузкой характеризуются приплотинная часть водохранилища и прибрежная зона в ареале воздействия стоков ливневой канализации с территории города. На этих участках водохранилища современное состояние донных отложений, оцененное согласно требованиям СанПиН 2.1.7.1287-03 по суммарной химической нагрузке, соответствует категории «чрезвычайно опасного загрязнения» (в остальной части акватории — «умеренно опасного»).

Заключение

Подводя итог далеко не полному приведению информации о биогеохимическом состоянии экосистем Пермского края, следует отметить, что в данном регионе очень активно развивается тенденция металлизации биосферы. Следствием этого является резкое и быстрое изменение химического состава среды обитания в сторону увеличения в ней доли биофобных элементов. Это не может не отразиться на биоте в целом и на человеке как ее части. Так, согласно данным по состоянию здоровья населения из ежегодного государственного доклада по Пермскому краю [7], для его жителей стали характерными элементозы. В среднем у 92,6% населения в биосубстратах превышено содержание Zn. В 30% случаев (для г. Чусового — в 100%) повышено содержание Mn и V. Высокое содержание Pb характерно для 23,5% населения (для Кунгура, Чернушки, Очера — для 100%). Организмы 20,8% населения содержат в биосубстратах недопустимо высокие концентрации Cr. Все перечисленные металлы хорошо изучены в плане влияния на человека — они обладают онкогенным воздействием на организм, подавляют иммунную систему, оказывают деструктивное влияние на внутренние органы и физиологические процессы. Поэтому важнейшей задачей на ближайшую перспективу должен стать не просто мониторинг фактической химической нагрузки на экосистемы, но изучение поведения технофильных элементов в природных экосистемах и разработка способов их нейтрализации, в т.ч. с использованием геохимических барьеров [9, 10].

Наст оящая работа была подготовлена при поддержке гранта РФФИ 10-05-96017 p_урал_a «Теоретические основы создания искусственных геохимических барьеров для защиты окружающей среды при освоении природных ресурсов Западного Урала».



Рис. 9. Донные отложения Нижнезырянского водохранилища во время снижения его уровня, связанного с аварией на калийном комбинате

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.А. Экологическая геохимия. М.: Логос, 2000. 627 с.
2. Атлас Пермской области. География. История. М.: Изд-во ДИК, 1999. 48 с.
3. Ворончихина Е.А., Ларионова Е.А. Тяжелые металлы в горно-таежных ландшафтах с западным режимом // Университеты России — фундаментальные исследования: География. М., 2000. С. 54.
4. Ворончихина Е.А. Опыт экогеохимического изучения Уральского Прикамья // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. Пермь, 2002. С. 113-120.
5. Ворончихина Е.А., Запоров А.Ю. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове города Перми // Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. Пермь, 2000. С. 134-142.
6. Ворончихина Е.А., Назаров Н.Н. Тяжелые металлы в донных отложениях Воткинского водохранилища // Геоэкологические проблемы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. Тула, 2004. С. 79—84.
7. Зайцева Н.В., Май И.В., Алексеев В.Б. и др. Состояние и охрана окружающей среды Пермского края. Раздел 26: Состояние здоровья населения // Государственный доклад. Пермь: Пермский краевой научно-исследовательский клинический институт детской эктопатологии, 2006. С. 62-71.
8. Зырин Н.Г., Малахов С.Г. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометиздат, 1981. 109 с.
9. Максимович Н.Г. Некоторые подходы к решению экологических проблем // Проблемы географии континентов и океанов: Докл. рос. учен.-участников 31-го МК (ОГГТ РАН и др.) / ред. В.И. Гончаров, Ю.В. Миронов. Магадан: Кордис, 2001. С. 262-267. — nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0233
10. Максимович Н.Г. Создание геохимических барьеров для очистки стоков породных отвалов // Уголь. 2006. № 9. С. 64. — nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2006/0305
11. Максимович Н.Г., Ворончихина Е.А., Дылдин И.Ю., Каменникова В.И. Геоэкологическое обоснование рациональной организации территории в границах осушаемого участка Нижнезырянского водохранилища // Географический вестник. Пермь: ПГУ, 2008. Вып. 2. № 8. С. 230-238. — nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2008/0345
12. Максимович Н.Г., Ворончихина Е.А., Китаева И.В., Шавнина Ю.Н. Эколого-хозяйственная оценка условий морфологического дна Нижнезырянского водохранилища (Пермский край) // Инженерная геология, гидрогеология и геодинамика прибрежных территорий и ложа водохранилищ. Пермь, 2008. С. 107-113. — nsi.psu.ru/labs/gtp/ng-0341
13. Максимович Н.Г., Горбунова К.А. Геохимические изменения геологической среды при разработке угольных месторождений // Изв. вузов. Геология и разведка. 1991. № 5. С. 137-140. — nsi.psu.ru/labs/gtp/ng-0123
14. Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края. Пермь: Книжная площадь, 2006. 463 с.
15. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафтов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Астрель, 2000, 1999. 786 с.
16. Саен Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
17. Хайрулина Е.А., Ворончихина Е.А. Оценка современного биогеохимического состояния заповедных экосистем Пермского края // Вестник Пермского университета. 2007. Вып. 5. № 10. С. 155-161.
18. Экологические проблемы человечества / Материалы Конвенции ООН по окружающей среде. Рио-де-Жанейро, 1992. — www.nbrb.ru
19. Khayrutina, E.A., Voronchikhina E.A., Fedosova E.A. The impact of industrial cities in front of the western Urals, Russia, on natural reserve // Proc. of the 10th IAEG Congress (IAEG2006) «Engineering geology and the environment». Nottingham, 2006. P. 223.