

ОТРАЖЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕХНОГЕНЕЗА В ДИНАМИКЕ НАКОПЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ РАСТЕНИЯМИ

Н. В. Барановская, Л. П. Рихванов, Е. В. Черненькая, Е. А. Горбатюк

Томский политехнический университет, Институт природных ресурсов,
пр. Ленина 30, 634050 Томск, Российская Федерация; nata@tpu.ru

С появлением и развитием человечества происходит постоянное изменение геохимического состава природных сред. В результате техногенеза увеличивается концентрирование и рассеивание существующих химических элементов, создаются новые, созданные человеком вещества и изотопы химических элементов, происходит их перераспределение между земными оболочками. Глобальное изменение биосферы в результате техногенеза ярко демонстрируют работы учёных, исследующих деполирующие среды, накопление химических элементов в которых можно привязать к определённому отрезку времени. Ряд авторов показывают это на примере льдов, торфа, годовых колец деревьев [2–5, 8 и др.]. Одним из недостатков данных методов может являться возможность перераспределения отдельных химических элементов внутри изучаемого объекта в силу различных причин.

На наш взгляд, для изучения процессов изменения химического элементного состава биосферы, включая определение радиоактивных элементов и изотопов, весьма эффективным является использование гербарного растительного материала однолетних растений. Это даёт возможность непосредственно определить концентрации химических элементов в растении в определённом времени и провести реконструкцию как глобальных, так и локальных изменений природной среды и биоты. Подобные работы активно проводятся за рубежом [7, 9–12 и др.], но в России пока единичны [6]. Исследования в этом направлении позволяют получить новые знания об этапах эволюции природных сред и провести историческую реконструкцию динамики изменения элементного состава растений обширных территорий.

Необходимо отметить, что растительность является наиболее чувствительным компонентом, отражающим как воздушное, так и почвенное загрязнение. Преимущество растительности, как биоиндикатора, состоит в том, что она: суммирует все биологически важные данные об окружающей среде и отражает её состояние в целом; устраняет трудную задачу применения дорогостоящих методов исследования; исключает невозможность регистрирования залповых и кратковременных выбросов токсикантов; указывает пути и места скопления в экосистемах различного рода загрязнений; позволяет судить о степени вредности веществ для живой природы.

Объектами нашего исследования являются три вида растений: черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim). Отбор проб растительного материала проводился в соответствии с ГОСТ 27262–87, ГОСТ 24027.0–80. Надземную часть растений собирали в период цветения, в начале плодоношения. Отбор проб был произведён на территории Томской обл. в летний период 1999, 2004, 2005, 2011, 2012 гг. Высушенное воздушным способом сырьё измельчали и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм.

Также были отобраны образцы гербарного растительного материала в гербарии им. П. Н. Крылова Национального исследовательского Томского государственного университета и в гербарии Государственного Центрального Сибирского ботанического сада СО РАН.

Всего проанализировано 259 проб растительного материала. Из них лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim) – 154 шт., брусника (*Vaccinium vitis-idaea*) – 36 шт. и черника обыкновенная (*Vaccinium myrtillus*) – 69 шт.

Отбор проб почв производился в местах отбора проб современного растительного материала на территории Томской обл. Отбор и подготовка проб проводилась в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84. Всего проанализировано 78 почвенных проб. В работе были использованы следующие методы анализа проб: нейтронно-активационный анализ (ИНАА); анализ индуктивно-связанной плазмой с масс-спектрометрическим окончанием (ИСП-МС); альфа-спектрометрический анализ с радиохимической подготовкой проб.

Все анализы проводились в современных лабораториях, имеющих аккредитацию.

Нами изучены особенности содержания химических элементов и выявлены индикаторы техногенеза, установлена региональная специфика элементного состава растений некоторых регионов территории юга Сибири. Материал, полученный в результате изучения элементного состава однолетних травянистых и многолетних кустарничковых лекарственных растений за 126-летний промежуток времени с 1886 по 2012 гг. показал, что имеет место значимо различимое концентрирование определённых химических элементов на разных этапах развития биосферы. На наш взгляд, в разрезе ядерного техногенеза развитие биосферы можно условно разделить на три периода. Первый период – доядерный период – временной промежуток до 1944 г. включительно, когда явление радиоактивности уже открыли, но еще не использовали масштабно радиоактивные элементы. Второй период – ядерный период с 1945 г. по 1963 г. Это время мощных и интенсивных ядерных испытаний в воздушной, водной и космической среде. Колоссальное количество впервые созданных человеком радиоактивных элементов выпало на поверхность суши и океанов всей планеты. Третий период – современный период с 1964 г. по настоящее время. Это запрет на испытание ядерного оружия в трёх средах (атмосфере, космическом пространстве и под водой), эра «мирного использования атома» и оценки последствий ядерных испытаний для человека и природы. Каждый из этих периодов характеризуется своими геохимическими особенностями состава природных сред, в том числе биоты. При этом, современный период разбит на 2 периода: с 1964 г. по 1986 г. – постядерный период и с 1987 г. по 2012 г. – современный период, поскольку имеет место различие в геоэкологическом состоянии биосферы. Это обусловлено тем, что в с 1964 г. по 1986 г. интенсивные ядерные испытания в атмосфере больше не проводились, за исключением серии атмосферных взрывов на полигоне Лобнор в 1967, 1969, 1970, 1973, 1974, 1976 и 1980 гг. [1], а также тем, что в данный период времени выходили на полную мощность предприятия ядерно-топливного цикла (Горный химический комбинат (ГХК) (Красноярский край) и Сибирский химический комбинат (Томская обл.) и произошла Чернобыльская катастрофа.

Исследования позволили выяснить, что тренд увеличения содержания от доядерного периода к современному в составе черники юга Сибири имеют такие элементы как Na, Ca, Sc, Cr, Fe, As, Br, Sr, La, Nd, Sm, Yb, Lu, Hf, Au, U. Уменьшение содержание во времени характерно для Rb, Ag, Tb, Ta, Th. Региональные тенденции по Томской обл. характеризуются увеличением содержания Sc, Co, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Yb, Hf, Au, U в составе черники с 1964 г. по 1986 г., что обусловлено на наш взгляд техногенным фактором. Региональные тенденции по Республике Алтай характеризуются увеличением содержания Ca, Rb, Sr, Au в составе черники в ядерный период времени, а Na, Sc, Fe, Ag, As, La, Nd, Eu, Tb, Lu, Hf, U имеют максимум своего содержания в чернике сборов 1987–2012 гг. Также, необходимо отметить, что по величинам соотношений элементов Th/U и La /Yb фиксируется резкая смена геохимической обстановки между ядерным и постядерным периодом времени.

Тренд увеличения содержания от доядерного периода к современному в составе лабазника вязолистного юга Сибири имеют такие элементы как Na, Ca, Sc, Zn, As, Sr, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th. Уменьшение содержание во времени характерно для Co, Br, Ag, Sb, U. Относительно постоянными с течением времени остаётся содержание Cr, Fe, Rb. Региональные тенденции по Томской обл. характеризуются увеличением содержания Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Nd, Sm, Eu, La, Ce, Hf, Au, Th, U в составе лабазника с 1964 г. по 1986 г., что обусловлено на наш взгляд запуском производств предприятия ядерно-топливного цикла. Региональные тенденции по Республике Алтай характеризуются увеличением содержания Sc, Fe, Sb, Cs, Nd, Sm, Tb, Lu, Th в составе лабазника от доядерного периода к современному, а Zn, Rb, Eu, Ta, U имеют обратную тенденцию. Содержание Cr и Sr не изменяется во временном ряду. Для лабазника Новосибирской обл. тенденция увеличения содержания от доядерного периода к современному характерна для Na, Ca, Cr, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Sm, Eu, Yb, Lu, Hf, Au, Th, U. Обратная тенденция отмечена у Co, Zn, Ag, Ta. Лабазник центральной части Республики Хакасия накапливает в своём составе от доядерного периода к современному Na, Sc, Cr, Fe, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Eu, Tb, Hf, Th. В постядерном периоде высоко содержание Zn, Rb, Yb, Au. Низкое содержание в ядерном и постядерном периоде характерно для Br, Ce, Sm, Lu, Ta, U. Также, необходимо отметить, что по величинам отношений Th/U и La/Yb в лабазнике Томской обл. фиксируется уменьшение содержания U во временном ряду и обогащение лабазника лёгкими лантаноидами в постядерном периоде. Лабазник всех исследованных областей в исследованном интервале времени постепенно обогащается Th (содержание U в растении уменьшается).

Тренд увеличения содержания от доядерного периода к современному в составе брусники (*Vaccinium vitis-idaea*) юга Сибири имеют следующие элементы: Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th, U. Уменьшение содержания во времени характерно для Ag, Nd. Региональные тенденции по Томской обл. характеризуются высоким содержанием Rb, Sr, Ag, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Yb, Ta, Th, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, Lu, Au, U в составе брусники в ядерный и современный периоды времени. Уменьшение содержания во времени в бруснике Томской обл. характерно для Nd, Tb, Ta. С 1964 г. по 1986 г. повышенное содержание в составе брусники характерно для Sb, Cs, Hf. Также, необходимо отметить, что по величинам соотношений Th/U и La/Yb фиксируется резкая смена геохимической обстановки между ядерным и постядерным периодом.

Установлено, что измеряемые значимые активности ^{239}Pu и ^{238}Pu обнаруживаются в гербарных сборах растительности, отобранных в период 1945–1963 гг. на всех характеризуемых территориях, тогда как в период доядерного техногенеза они не обнаруживаются на детектируемом уровне измерения. В современный временной период изотопы Pu обнаруживаются только в Томском регионе на уровне 0,15 Бк/кг ^{239}Pu и 0,06 Бк/кг ^{238}Pu , что, с высокой долей вероятности, объясняется функционированием в этой местности плутониевых производств на Сибирском химическом комбинате.

Отношение изотопов ^{238}Pu к ^{239}Pu для растительности юга Сибири колеблется от 0,3 до 2,7 в материале гербарных сборов, характеризующих ядерный временной период. В Томском р-не в современный период этот показатель составляет 0,4. Эти показатели значительно выше, чем показатели этого отношения, взятые за характеристику глобальных аэрозольных выпадений от испытания ядерного оружия в атмосфере (около 0,02–0,04 при изучении почв, донных отложений, льда, воды). Это, как нам представляется, обусловлено спецификой миграции и накопления ^{238}Pu в живом веществе.

Таким образом, проведенные исследования показали, что растительность отражает в динамике процессы, происходящие в биосфере под воздействием техногенеза, в том числе, ядерного техногенеза, с его спецификой проявления на разных этапах испытания ядерного оружия.

1. Булатов В. И. Россия радиоактивная. Новосибирск: ЦЭРИС, 1996. 271 с.
2. Гавшин В. М. Свидетельства фракционирования химических элементов в атмосфере Западной Сибири по данным исследования верхового торфяника // Геохимия. 2003. № 12. С. 1337–1344.
3. Межибор А. М. Экогеохимия элементов-примесей в верховых торфах Томской области. Томск, 2009. 22 с.
4. Небел Б. Наука об окружающей среде: Как устроен мир. М.: Мир, 1993. Т. 1. 424 с.
5. Рихванов Л. П., Архангельская Т. А., Замятина Ю. Л. Дендрорадиография как метод ретроспективной оценки радиоэкологической ситуации. Томск: Изд-во ТПУ, 2015. 148 с.
6. Удачин В. Н. Экогеохимия горнопромышленного техногенеза южного Урала. Томск, 2012. 44 с.
7. Herpin U., Markert B., Weckert V. Retrospective analysis of heavy metal concentrations at selected locations in the Federal Republic of Germany using moss material from a herbarium // The Sci. of the Total Environ. 1997. Vol. 205. P. 1–12.
8. Olivier S., Bajo S., Fifield L. K. et al. Plutonium from Global Fallout Recorded in an Ice Core from the Belukha Glacier, Siberian Altai // Environ. Sci. Technol. 2004. 38 (24). P. 6507–6512.
9. Shotbolt L., Buker P., Ashmore M. R. Reconstructing temporal trends in heavy metal deposition: Assessing the value of herbarium moss samples // Environ. Pollution. 2007. Vol. 147. P. 120–130.
10. Lavoie C. Biological collections in an ever changing world: Herbaria as tools for biogeographical and environmental studies // Perspectives in Plant Ecology, Evolutions and Systematics. 2013. Vol. 15. P. 68–76.
11. Minganti V., Drava G., Pellegrini De R. Temporal trends (1981–2007) of trace and rare earth elements in the lichen *Cetraria islandica* (L.) Ach. from Italian herbaria // Chemosphere. 2014. Vol. 99. P. 180–185.
12. Weiss D., Shotyk W., Kramers J. D. Sphagnum mosses as archives of recent and past atmospheric lead deposition in Switzerland // Atmospheric Environ. 1999. Vol. 33, P. 3751–3763.

УДК 550.4

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОТХОДОВ КАЛИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ГИПЕРГЕНЕЗА

Б. А. Бачурин, А. Ф. Сметанников, Е. С. Хохрякова

Горный институт УрО РАН, ул. Сибирская 78а, 614007 Пермь, Российская Федерация; bba@mi-perm.ru

Освоение минеральных ресурсов неизбежно сопровождается образованием значительного объема отходов горного производства, объекты складирования которых выступают в качестве основных источников эмиссии широкого спектра загрязняющих веществ в окружающую природную среду. Не