

УДК 911.2:504.05

ТЕХНОГЕННЫЕ ПОТОКИ ПОЛЛЮТАНТОВ И ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ТАЕЖНЫХ И СТЕПНЫХ ГЕОСИСТЕМ СИБИРИ

© Н.Д. Давыдова

Ключевые слова: ноосфера; техногенез; загрязнение; поллютанты; геосистема; геохимическая среда.

Показано, что в условиях техногенного загрязнения комплексная оценка изменения вещественного состояния компонентов геосистем, проведенная на количественной основе мониторинга, дает реальную возможность принимать соответствующие решения и управлять качеством природной среды.

ВВЕДЕНИЕ

Очевидные в настоящее время изменения в геосфере, связанные с деятельностью человека, предугадывались уже во второй половине XIX в. и сравнивались с мощными силами природных явлений [1–2]. Высказывались опасения о возможности негативных последствий преобразования природы, вследствие неуклонного роста промышленности [1–3]. В период научно-технической революции развитие общества по пути наращивания производительных сил достигло небывалых результатов. Однако успехи в области получения материальных благ обернулись обратной стороной – нанесением ущерба природным компонентам и ухудшением качества среды обитания. Оценивая результаты интенсивного роста добычи полезных ископаемых в связи с их быстрым потреблением, А.Е. Ферсман [4] пришел к выводу, что человек геохимически переделывает мир. Этот процесс он назвал техногенезом. В это же время В.И. Вернадский [5] рассматривал человечество как катализатор, многократно ускоряющий все процессы, протекающие на планете Земля и изменяющие ее. Он увидел, что человечество, взятое в целом, представляет могучую геологическую силу, способную перестроить биосферу, но этот процесс должен протекать не стихийно, а разумно. Необходимо научиться управлять процессом техногенеза. Новое состояние биосферы, к которому должно стремиться человеческое общество, В.И. Вернадский назвал ноосферой – сферой Разума. Ее формирование, основанное на согласованном с природой развитии общества, потребует нового сознания и поведения людей, создания специальных структур, способных обеспечить экологическую безопасность цивилизации.

В данной работе высказывается мысль, что на пути разумного формирования биосферы необходимы количественные показатели о вещественном изменении геосистем в зонах локального техногенного воздействия – аномалиях. Они могут рассматриваться как ядра зарождающихся глобальных изменений географической среды, управление которыми становится возможным благодаря полученным знаниям.

В Сибири образование техногенных геохимических аномалий связано с крупными тепловыми станциями, предприятиями химической переработки древесины,

нефтехимии и цветной металлургии. Сибирь – крупнейший мировой производитель алюминия, т. к. располагает мощными источниками энергетики и большой территорией, позволяющей размещать крупные промышленные предприятия и рассеивать потоки техногенных веществ. Между тем, с целью охраны окружающей среды на этот счет существуют международные нормы, ограничивающие мощность заводов до 200–300 тыс. т/год, что регламентирует общий выброс в атмосферу загрязняющих веществ. Однако при строительстве алюминиевых гигантов в Сибири эти требования не учитывались, и указанные нормы превышены в 2–3 раза, поэтому на смежной с заводами территории отмечается негативный характер воздействия на природную среду отходов производства, среди которых наиболее опасными считаются газообразные и твердые фториды.

Цель работы – установить масштабы вторжения поллютантов алюминиевых заводов в природную среду и оценить их влияние на изменение геохимического фона, которое прослеживается далеко за пределами санитарных зон. На основе полученной информации показать необходимость снижения выбросов поллютантов на имеющихся заводах и обязательность выполнения установленных регламентов при строительстве новых.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Изучаются потоки пылегазовых эмиссий алюминиевых заводов Сибири и изменение под их воздействием вещественного состояния компонентов таежных, лесостепных и степных геосистем. Исследования проводятся на территории, подверженной воздействию пылегазовых эмиссий предприятий цветной металлургии: Братского (БрАЗ), Саяногорского (САЗ) и Хакасского (ХАЗ) алюминиевых заводов, принадлежащих ОАО «РУСАЛ Саяногорск». Объект изучения – южно-таежные плоскогорные геосистемы Средней Сибири, находящиеся около 45 лет в зоне воздействия эмиссий БрАЗа, и степные геосистемы юга Минусинской котловины, испытывающие 20-летнее воздействие выбросов САЗа. В последние 5 лет техногенное давление усилилось в связи с запуском ХАЗа, расположенного на одной строительной площадке с САЗом. Сбор полевых

материалов проводился по широкой комплексной программе с применением ландшафтно-геохимических методов [6].

С целью оценки масштабов загрязнения через атмосферу компонентов природной среды техногенные потоки устанавливались посредством измерения концентраций химических элементов в снежном покрове, отражающего загрязнение воздушного бассейна. В условиях Сибири это один из признанных методов учета поллютантов, т. к. практически половину года он является их естественным поглотителем.

Изучался вещественный состав пылегазовых эмиссий, первичное распределение приоритетных поллютантов в пространстве и вторичная их дифференциация в почвах элементарных ландшафтов в результате латеральной и радиальной миграции, а также реакция растений на изменившиеся геохимические условия среды обитания. Изучено более 20 химических элементов. Количественный анализ состава твердых плохо растворимых аэрозолей (взвесей), снеговой воды, почв, почвенных растворов выполнялся в сертифицированном химико-аналитическом центре Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН с применением спектрометров атомно-эмиссионного с индуктивно связанной плазмой Optima 2000 DV и атомно-абсорбционного с прямой электротермической атомизацией проб Analyst 400 фирмы Perkin Elmer согласно утвержденному методикам. Содержание фтора в жидкой и твердой фазах снеговой воды, почвах выявлялось с помощью фторселективных электродов на иономере И-120.1 [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В природные системы из пылегазового потока поллютанты поступают в растворимой и в плохо растворимой форме (твердые аэрозоли). Это в значительной мере предопределяет уровень их накопления в компонентах геосистем. Твердые аэрозоли в 2-километровой зоне характеризуются относительно постоянным составом, который представлен преимущественно соединениями алюминия (табл. 1). Кремний составляет не более 10 %. Повышенное содержание характерно также для фтора (0,9–2,2 %). В потоке плохо растворимого вещества на долю алюминия приходится 68 %. Участие фтора составляет всего 2 %. Тем не менее, по уровню содержания он в 30–50 раз выше по сравнению с почвами фона. Отмечается также существенное обогащение аэрозолей никелем. При этом в твердых аэрозолях более современных заводов Хакасии отмечено меньшее содержание главных элементов загрязнителей алюминия (на 8 %), фтора (на 29 %) и повышенное никеля (на 76 %).

Индекс потенциального суммарного загрязнения почв рассчитывался по Саеу [8] в условных единицах – у. е. Получены следующие ряды коэффициентов потенциальной концентрации (Ккп) элементов в почвах (1 – БрАЗ, 2 – САЗ и ХАЗ): 1 – $F_{50} Al_{5,2} Ni_{4,5} Co_{2} Zn_{1,8} Cu_{1,8} Pb_{1,8}$, 2 – $F_{29} Ni_{15,9} Al_{5,5} V_{3,1} Zn_{2,3} Cu_{1,8} Sr_{1,6}$. Сравнительный анализ массовой доли химических элементов в твердых аэрозолях заводов и в почвах фона соответствующих им регионов показал, что в качестве главных

Таблица 1

Содержание химических элементов в твердых аэрозолях

Химический элемент	БрАЗ		РУСАЛ «Саяногорск»		Ккп1 БрАЗ	Ккп2 САЗ
	min-max	Среднее (n = 19)	min-max	Среднее (n = 11)		
Содержание, %						
Кремний	1,62–0,36	1,10	9,08–7,97	8,58	0,04	0,4
Алюминий	46,6–30,41	40,32	40,70–34,50	37,20	5,2	5,5
Кальций	1,09–0,43	0,67	1,35–1,32	1,26	0,6	0,6
Магний	0,60–0,11	0,21	0,89–0,87	0,88	0,3	0,7
Калий	0,91–0,10	0,37	0,74–0,58	0,64	0,2	0,3
Натрий	1,87–0,38	0,90	1,54–1,17	1,36	0,8	1,0
Фтор	1,00–2,20	1,50	1,54–0,90	1,16	50	29
Железо	0,61–0,33	0,44	3,22–2,12	3,18	0,1	0,8
Содержание, мг/кг						
Титан	204–160	183	300–233	268	0,03	0,6
Марганец	69–32	49	490–465	475	0,06	0,5
Стронций	82–41	60	430–330	367	0,3	1,6
Барий	874–76	351	790–710	753	0,8	1,4
Цинк	110–43	72	140–130	133	1,8	2,3
Медь	56–17	35	68–34	47	1,8	1,8
Никель	195–85	136	599–549	571	4,5	15,9
Кобальт	21–13	16	44–20	30	2,0	1,5
Хром	30–11	17	60–52	56	0,2	0,7
Свинец	19–17	18	13–10	11	1,8	0,5
Фосфор	88–19	61	150–110	133	0,1	0,2
Ванадий	60–39	48	270–260	263	0,6	3,1
Бериллий	8–2	4	2–1,7	1,9	0,8	1,0

элементов загрязнителей выделяются фтор, никель и алюминий. Суммарные индексы загрязнения мало различаются по своей величине (1 – 61, 2 – 53 у. е.) и оцениваются, согласно [9], как высокие и опасные. При этом элементы с превышением до 1,5 раза над фоновым содержанием и ниже, согласно общим правилам, в расчет не принимались.

Растворимое вещество выбросов алюминиевых заводов по своей массе меньше твердого нерастворимого вещества, но гораздо подвижнее и активнее последнего по воздействию на компоненты природной среды. В его составе (табл. 2) вблизи заводов содержание фтора может достигать более 40 мг/дм³, натрия – 18–25, алюминия – до 30. Следует отметить, что в зоне распространения пылегазовых эмиссий на расстояние более 20 км от источника содержание фтора и алюминия существенно превышает ПДК для воды объектов рыбохозяйственного значения [10]. Как видно из табл. 2, жидкая фаза снеговой воды вблизи заводов в отличие от технолитов содержит кроме фтора и алюминия повышенное количество натрия. Следовательно, в качестве приоритетных элементов загрязнителей выделяется триада – фтор, натрий, алюминий.

Кроме макроэлементов в снеговой воде присутствуют микроэлементы, повышенные содержания которых в большей степени характерны для эмиссий алюминиевых заводов Хакасии (табл. 2). При этом содержание ванадия превышает ПДК на расстоянии более 20 км, цинка – до 10, марганца – до 15.

В целом жидкая фаза снеговой воды обогащена по отношению к снеговой воде фона (Ккс) более много-

численной группой химических элементов, нежели твердая фаза. В санитарной зоне БрАЗа ассоциацию поллютантов составляют 12 химических элементов – F₆₅₆ A₆₁₄ Na_{67,5} Ni₂₃ V_{14,7} Ca_{5,5} Mg_{4,5} Pb_{4,4} Mn_{2,7} P_{2,1} Cu_{1,9} K_{1,9}, а в зоне предприятий ОАО РУСАЛ «Саяногорск» – 16 элементов, таких как F₅₂₀ Al₄₀₀ Na₁₁₀ Ni₅₀ Mn_{28,2} Ca_{12,8} Mg_{8,8} Sr_{8,1} Fe_{6,4} Si_{4,6} V_{4,2} Zn_{3,8} Ba_{2,3} Cu_{2,3} Ti₂ K_{1,9}. Индекс суммарного загрязнения снежного покрова растворимыми ингредиентами очень высокий и чрезвычайно опасный. В первом случае он составляет 1387 у. е., во втором – 1150.

На основе многолетних исследований составлены картосхемы распределения растворимых приоритетных загрязнителей (F, Na, Al) в снежном покрове. Наибольшее внимание привлекает фтор (рис. 1) как элемент 1-го класса опасности для почв и 2-го класса для воды и атмосферы, а также алюминий (рис. 2). Биологическая роль алюминия до конца пока не выявлена, но при избытке его потребления наблюдались случаи проявления симптомов нарушения памяти, психозы, судороги, нарушение обмена витамина D и функции печени, а также возникновение отрицательного кальциевого баланса.

Площадь загрязнения указанными элементами, выделенная по снежному покрову, достаточно велика, составляя многие десятки тыс. га для каждого предприятия. Наименьшее содержание в снеге по изолинии, ограничивающей этот ореол воздействия эмиссий предприятий ОАО РУСАЛ «Саяногорск», соответствует для фтора 0,5 мг/дм³, алюминия – 0,4 мг/дм³, что еще в 10 раз превышает уровень фона (рис. 1, 2).

Таблица 2

Содержание химических элементов в снеговой воде

Химический элемент	БрАЗ		РУСАЛ «Саяногорск»		Ккс1 БрАЗ	Ккс2 САЗ
	Min–max	Среднее (n = 19)	Min–max	Среднее (n = 11)		
Содержание, мг/дм ³						
Кремний	0,26–0,14	0,21	0,36–0,11	0,27	0,6	4,6
Алюминий	10,83–30,6	18,42	13,70–9,92	12,01	613,9	400,4
Кальций	2,53–5,49	4,14	6,92–2,59	4,34	5,5	12,8
Магний	0,41–0,76	0,54	1,79–0,76	1,14	4,5	8,8
Калий	0,62–1,80	0,94	0,63–0,25	0,44	1,9	1,9
Натрий	14,66–24,15	20,28	18,81–11,65	14,31	67,6	110,1
Фтор	22,3–41,5	32,81	40,33–18,12	26,00	655,8	520,0
Содержание, мкг/дм ³						
Железо	3–9	6	135–36	71	0,4	6,4
Титан	0,9–2	1	2–1	2	0,6	2,0
Марганец	4,1–37,33	18,67	80–39	56	2,7	28,2
Стронций	8–25	16	70–27	64	1,1	8,1
Барий	6–9	7	20–14	16	0,8	2,3
Цинк	4–6	5	18–13	15	1,5	3,8
Медь	1–3	2	3–2	2	1,9	2,3
Никель	6–11	9	82–19	63	22,9	50,0
Кобальт	0,5–1,2	0,9	3–1	2	1,2	1,7
Хром	0,3–0,7	0,4	2–1	1	0,73	0,67
Свинец	1–3	2	3–2	2	4,4	0,8
Фосфор	9–12	11	10–4	6	2,1	0,63
Ванадий	4–7	6	15–8	13	14,4	4,2

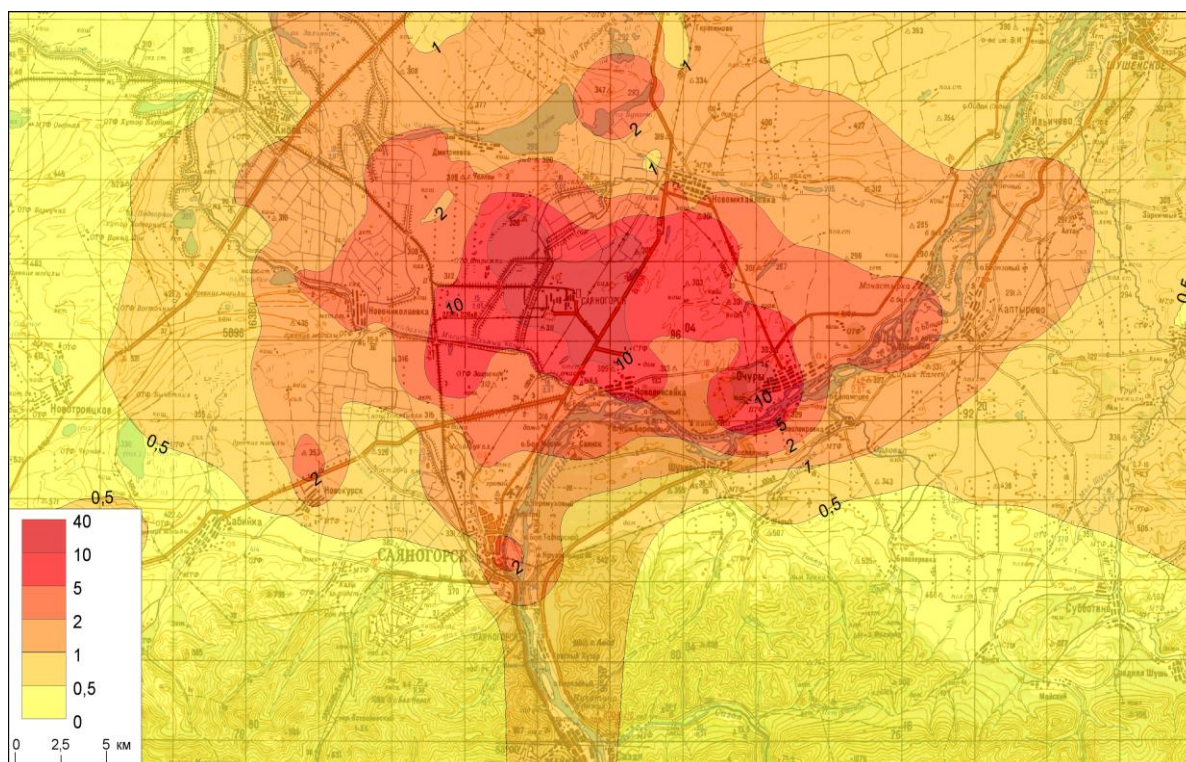


Рис. 1. Распределение растворимого в снеговой воде фтора (мг/дм^3) на территории, прилегающей к предприятиям ОАО РУСАЛ «Саяногорск» (электронная версия Д.А. Лопаткина)

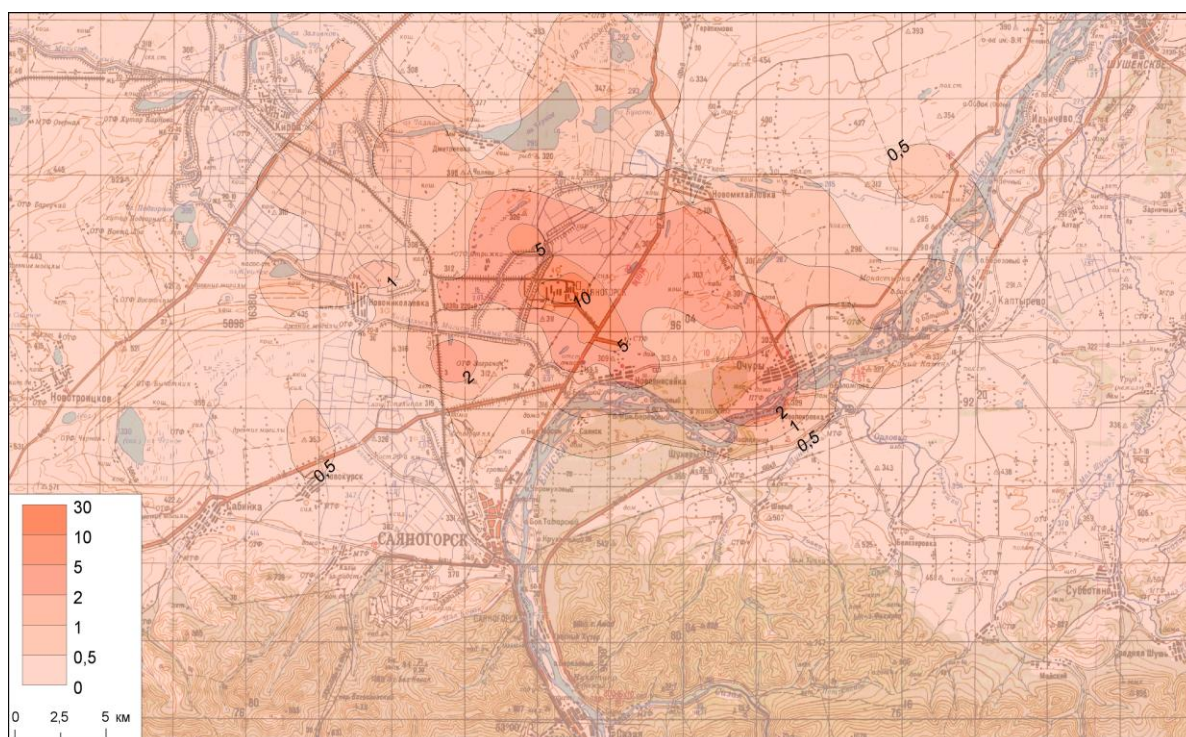


Рис. 2. Распределение растворимого в снеговой воде алюминия (мг/дм^3) на территории, прилегающей к предприятиям ОАО РУСАЛ «Саяногорск» (электронная версия Д.А. Лопаткина)

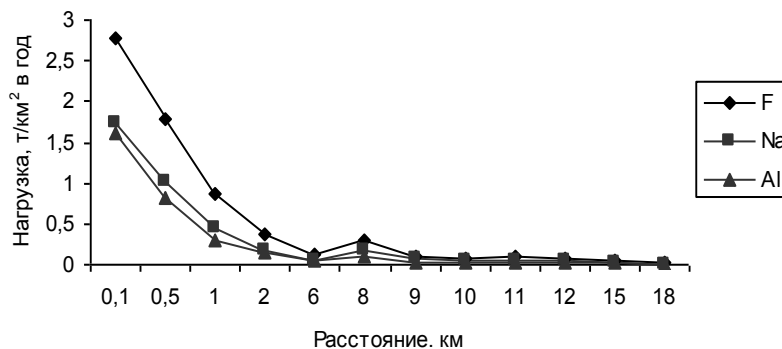


Рис. 3. Поток поступления водорастворимых поллютантов на территорию, прилегающую к предприятиям ОАО РУСАЛ «Саяногорск»

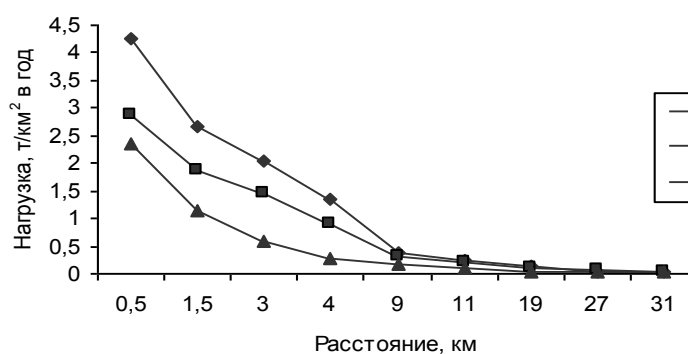


Рис. 4. Поток поступления водорастворимых поллютантов на территорию, прилегающую к Братскому алюминиевому заводу

Поступление основного количества водорастворимых поллютантов (рис. 3, 4) на территорию осуществляется в радиусе 5–6 км для предприятий ОАО РУСАЛ «Саяногорск» (F^- – 0,4–2,8; Na^+ – 0,2–1,7, Al^{3+} – 0,15–1,6 т/км² в год) и 8–9 км для БрАЗа (F^- – 0,4–4,3; Na^+ – 0,3–2,9, Al^{3+} – 0,16–2,4 т/км² в год). В их распределении заметную дифференцирующую роль выполняет рельеф. Повышенная масса аэрозольных выпадений отмечается на повышенных элементах (рис. 3). В ветровой тени, как правило, их количество снижено. Следует отметить, что техногенное вещество названных заводов сходно по химическому составу, но нагрузки эмиссий Братского алюминиевого завода в среднем в 2 раза выше и распространение их дальше.

Ассоциацию с аномальным валовым содержанием в почвах вблизи БрАЗа по сравнению с почвами фона в последние годы составляют семь элементов – $F_{28,3} Ni_{5,5} Pb_{3,9} Zn_{2,8} Cu_{2,2} Al_{1,9}$. Индекс суммарного загрязнения верхнего слоя почв (0–10 см) – 39,6 у. е., что соответствует высокому и опасному уровню. Вблизи Хакасских заводов индекс суммарного загрязнения почв несколько ниже и составляет 27,3 ($F_{28,3} Ni_{3,6} Al_{1,7}$).

Валовое содержание элементов в почвах могло быть гораздо значительней, но вследствие достаточно высокой растворимости поступающего вещества в большей степени загрязняются почвенные растворы. Высоким содержанием по сравнению с водными растворами почв фона характеризуются водные вытяжки дерново-подзолистых остаточно-карбонатных почв вблизи БрАЗа ($F_{251} Al_{18,8} Na_{18,7} Zn_{2,4} Sr_{1,7} Ba_{1,7} Pb_{1,5}$). Индекс их суммарного загрязнения (Z_{cp}) составляет

290 у. е., что соответствует очень высокому и опасному уровню. Почвенные растворы верхнего горизонта южных черноземов, находящихся вблизи предприятий ОАО РУСАЛ «Саяногорск», содержат меньшее количество поллютантов, но также соответствуют очень высокому и опасному уровню загрязнения – $Z_{cp} = 95$ ($F_{90} Ca_{2,3} Ni_{2,3} Sr_{1,9} Al_{1,7} Ba_{1,7}$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе количественных показателей по 20-ти химическим элементам выявлены элементы-загрязнители, характерные для пылегазовых эмиссий при производстве алюминия. К приоритетным загрязнителям отнесены элементы, которые присутствуют в одной или нескольких ассоциациях элементов, установленных для твердой и жидкой фазы снежного покрова и почв с индексом аномальности не менее 10. Это F, Al, Na. Группу второстепенных загрязнителей составили Ni, Cu, Zn, Sr, Ba. Определена дальность переноса основной их массы и выявлены закономерности первичного распределения на территории, прилегающей к источникам эмиссий. Кроме этого рассчитаны аэрозольные и поэлементные нагрузки и индексы суммарного загрязнения снежного покрова, почвенных растворов и твердой фазы почв.

Полученные результаты могут служить основой для оценки эколого-геохимической опасности на территории с производством алюминия и проводить зонирование по степени экологического риска. Важно привлечь внимание соответствующих административных

структур к материалам подобного рода для использования их как ориентир на пути снижения пылегазовых эмиссий действующих предприятий с целью нормализации нарушенного на прилегающей территории геохимического фона и исключения возникновения новых техногенных аномалий.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мари Г.* Природа и человек. СПб., 1966. 587 с.
2. *Лайель Ч.* Основные начала геологии. М., 1866. Т. 1.
3. *Тимирязев К.А.* Точно ли человеку грозит близкая гибель? М., 1899.
4. *Ферсман Е.А.* Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1955. Т. 3. 798 с.
5. *Вернадский В.И.* Несколько слов о ноосфере // Биосфера. М., 1967. С. 349-358.
6. *Глазовская М.А.* Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1964. 230 с.
7. РД 52.24.360-2008. Массовая концентрация фторидов в водах. Методика выполнения измерений потенциометрическим методом с ионоселективным электродом. Ростов н/Д, 2008. 25 с.

8. *Сает Ю.Е., Смирнова П.С.* Геохимические принципы выявления зон воздействия промышленных выбросов в городских агломерациях // Вопросы географии: сб. М.: Мысль, 1983. Сб. 120. С. 45-55.
9. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: Астра-2000, 1999. 763 с.
10. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения: приказ № 20 Росрыболовства. М., 2010.

Поступила в редакцию 25 сентября 2012 г.

Davydova N.D. TECHNOGENIC FLOWS OF POLLUTANTS AND CHANGES IN GEOCHEMICAL ENVIRONMENT OF COMPONENTS OF TAIGA AND STEPPE GEOSYSTEMS OF SIBERIA

It is shown that under conditions of technogenic pollution, comprehensive assessment of changes in matter composition of the components of geosystems, made on a quantitative basis of monitoring, offers a realistic possibility of taking relevant decisions and managing the quality of natural environment.

Key words: noosphere; technogenesis; pollution; pollutants; geosystems; geochemical environment.

УДК 631.48:930.26

ПАЛЕОПОЧВЫ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ СТЕПНОЙ ЗОНЫ КАК ИНДИКАТОРЫ РАЗВИТИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ГОЛОЦЕНЕ

© В.А. Демкин, М.В. Ельцов, Т.С. Демкина, Т.Э. Хомутова

Ключевые слова: степь; природная среда; палеопочвы; археологические памятники.

На основе изучения подкурганых педохронорядов разработана концептуальная модель эволюции почв нижневолжских степей на протяжении последних 6000 лет. Установлены закономерности вековой изменчивости морфологических, химических, микробиологических свойств палеопочв. По палеопочвенным данным реконструирована динамика увлажненности климата в регионе в эпохи энеолита, бронзы, раннего железа и средневековья. Выявлены кризисные и оптимальные этапы в истории развития природной среды во второй половине голоцена.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема истории развития природной среды и ее отдельных компонентов всегда занимала и занимает одно из ведущих мест в сфере интересов отечественных и зарубежных специалистов в области естественнонаучных дисциплин. В ее решении используется весьма широкий спектр методов и объектов изучения. Тем не менее, полученные на сегодняшний день данные о закономерностях голоценовой динамики климата, почвенно-растительного покрова в семиаридных и аридных областях Евразии зачастую носят неоднозначный и даже противоречивый характер. Прогресс в этой области видится в максимальной интеграции исследований, выбора наиболее репрезентативных объектов, содержащих информацию для различных отраслей знания. Подтверждением сказанному могут служить многочисленные примеры совместных работ специалистов в области археологии и естественных наук, которые привели к возникновению и активному развитию новых междисциплинарных научных направлений, в частности геоархеологии, петроархеологии, зооархеологии, археофитоиндикации, археологического почвоведения [1].

Около 6000 лет назад у степных энеолитических племен юга России появился новый тип погребального обряда: над могильной ямой и окружающей ее поверхностью стал насыпаться холм из почвенно-грунтового материала. В отечественную научную литературу археологические памятники подобного рода вошли под названием «курганы». Традиция курганного погребального обряда сохранялась у степного населения бронзового (III–II тыс. до н. э.), раннежелезного (I тыс. до н. э. – IV в. н. э.) веков, раннего и развитого этапов средневековья (V–XIV вв. н. э.). Существующая хронология археологических культур в рамках упомянутых исторических эпох дает возможность определить время сооружения того или иного памятника с точностью от 200–300 до 30–50 лет. В пределах отдельного курганного могильника, куда, как правило, входят разновозрастные памятники, можно исследовать достаточно длительный (до 6000 лет) и дробный погребенный педохроноряд, включающий палеопочвы целой серии временных срезов, нередко до пяти-шести и более. Эффективность таких исследований в решении задач голоценовой эволюции биосферы и ее отдельных компонентов оказывается чрезвычайно высокой, что объясняется прежде всего спецификой объекта изучения.