

УДК 504.05:631.41

ДИНАМИКА ПОСТУПЛЕНИЯ ПОЛЛЮТАНТОВ ОТ АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА И ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ПОЧВАХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ

Давыдова Н.Д.

ИГСО РАН «Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН», Иркутск, e-mail: davydova@irigs.irk.ru

Приведены техногенные нагрузки приоритетных поллютантов (F, Na, Al) за период 1988-2015 годы в зоне максимального воздействия пылегазовых эмиссий одного из крупнейших в Сибири Братского алюминиевого завода, выпускающего в год 1 млн тонн алюминия. Динамика их нагрузок на почвы показывает, что наибольшее количество, кроме алюминия твердого малорастворимого техногенного вещества, приходится на нормируемые растворимые фториды (от 2 до 12 т/км² в год по фтору). Показаны уровни накопления элементов-загрязнителей за 50-ти летний период и распределение их в почвенном профиле текстурно-дифференцированных почв. Наибольшее накопление в почвах характерно для фтора. Его распределение по почвенному профилю дерново-подзолистых почв показало высокие уровни концентрации в мелкоземной подстилке и слое фрагментарно сохранившихся мхов, а также дерновом горизонте АУ до 15 ПДК водорастворимого фтора (фторид-иона) и от 3300 до 8000 мг/кг валового. Обогащение нижних горизонтов составляет 0,5-10 ПДК и 1000-1675 мг/кг соответственно. Повышенное содержание водорастворимого фтора (до 1 ПДК) в верхнем слое почв прослеживается до 9 км от завода в северо-восточном направлении. Отмечено, что к 2015 году нагрузки поллютантов в водорастворимой форме снижены примерно в 2 раза, а в твердой малорастворимой форме в 3 раза, что соответственно сказалось на снижении уровней содержания фтора в почвах. Однако проблема сокращения пылегазовых эмиссий, особенно газообразной составляющей, еще остается.

Ключевые слова: алюминиевый завод, поллютанты, фтор, техногенные нагрузки, почва

RECEIPT POLLUTANT DYNAMIC FROM ALUMINIUM PLANT AND THEIR DISTRIBUTION IN SOILS OF THE SOUTHERN TAIGA

Davydova N.D.

IG SB RAS «V.B. Sochava Institute of geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science», Irkutsk, e-mail: davydova@irigs.irk.ru

Technogenic loadings of priority pollutant (F, Na, Al) during 1988-2015 are given in a zone of the maximum influence the dust and gas issues of one of the largest in Siberia – the Bratsk Aluminum Plant, which is letting out 1 million tons of aluminum a year. Dynamics of their loads of soils shows that the greatest number, except aluminum of solid slightly soluble technogenic substance, is the share of the normalized soluble fluorides (from 2 to 12 t/sq.km a year on fluorine). Levels of accumulation of elements-pollutants for 50 summer period and their distribution in a soil profile of the textural differentiated soils are shown. The greatest accumulation in soils is characteristic of fluorine. Its distribution on a soil profile of cespitose and podsollic soils has shown high levels of concentration in a fine earth of a laying and a layer of fragmentary remained mosses, and also the cespitose horizon of АУ to 15 maximum concentration limits of water-soluble fluorine (fluoride ion) and from 3300 to 8000 mg/kg of gross. Enrichment of the lower horizons makes 0,5-10 maximum concentration limits and 1000-1675 mg/kg respectively. The increased content of water-soluble fluorine (to 1 maximum concentration limit) in the top layer of soils is traced to 9 km from plant in the northeast direction. It is noted that by 2015 loadings of pollutant in a water-soluble form are lowered approximately twice, and in a firm slightly soluble form by 3 times that has respectively affected decrease in levels of content of fluorine in soils. However the reduction problem the dust and gas issues, especially gaseous component, still remains.

Keywords: aluminum plant, pollutants, fluorine, technogenic loadings, soil

Поступление загрязняющих веществ из атмосферы на территорию, прилегающую к промышленным предприятиям, является одной из причин, вызывающей изменение геохимического фона, что проявляется в ухудшении качества воздушной среды, деградации почв, снижении их плодородия и качества сельскохозяйственной продукции. Особенно это актуально в зонах локального воздействия крупных источников загрязнения, оказывающих свое существенное воздействие далеко за пределами санитарных зон. Изучение вещественного состава техногенных потоков веществ, определение нагрузок поллютан-

тов и воздействие их на почвы, а также познание процессов миграции-аккумуляции их в почвенном профиле необходимо, прежде всего, для показа негативной стороны этого явления, так как защита природной среды от загрязнения базируется главным образом на совершенствовании технологии, принципах организации и культуре производства.

Цель исследования – установить нагрузки приоритетных поллютантов на почвенный покров территории, прилегающей к алюминиевому заводу, выявить их динамику и уровни накопления в почвах, и внутри профилейное распределение.

Материалы и методы исследования

Сбор полевых материалов и оценка влияния пылегазовых эмиссий на компоненты геосистем проводились по широкой комплексной программе основанной на принципах и методах геохимии ландшафта [1, 7].

Исследования проводились на территории Средней Сибири в зоне распространения пылегазовых эмиссий Братского алюминиевого завода (БрАЗа), выпускающего в год более 1 млн тонн алюминия. Техногенные нагрузки на почвенный покров за зимний период устанавливались по накоплению поллютантов в снежном покрове с пересчетом на сутки. Поступление веществ в течение года рассчитывалось умножением суточных нагрузок на число дней в году с учетом направления ветров [4]. Отбор и первичная подготовка проб почв к анализу проводились общепринятыми методами [3]. Количественный химический анализ массы твердого малорастворимого и растворимого в снеговой воде вещества, образцов почвы и почвообразующей породы выполнялся в сертифицированном химико-аналитическом центре Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН с использованием приборной базы Байкальского центра коллективного пользования и соответствующих утвержденных методик. Пробы анализировались на содержание 20-ти химических элементов – Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na, Ti, Mn, P, F, Sr, Ba, Zn, Cu, Ni, Cr, Co, Pb, V. При этом применялись спектрометры: атомно-эмиссионный с индуктивно связанной плазмой Optima 2000 DV и атомно-абсорбционный с прямой электротермической атомизацией проб Analyst 400 фирмы Perkin Elmer [4].

Содержание фтора в снеговой воде, водных вытяжках (1:5), твердых аэрозолях и почвах выявлялось методом прямой потенциометрии на иономере «Эксперт-001» с помощью фторселективного электрода ЭЛИС 131F [8].

Для оценки изменения уровней содержания отдельных элементов в снеговой воде, взвесах, почвах и почвенных растворах (водной вытяжке) зоны загрязнения применялись коэффициенты концентрации ($K_c = C_a/C_f$), где C_f и C_a соответственно концентрации элемента в образцах фона и зоны загрязнения (техногенной геохимической аномалии). Коэффициенты концентрации использовались далее для расчета индекса суммарного загрязнения

$$Z_c = \sum_1^n K_c - (n - 1),$$

где n – количество химических элементов с $K_c > 1,5$, который является информативным показателем изменений в ландшафтах под давлением техногенного пресса полиэлементного геохимического фона каждого компонента и элемента [11]. При санитарно-гигиенической оценке токсичности поллютантов использовались предельно допустимые концентрации (ПДК), химических веществ, установленные для почв [2].

Результатов исследования и их обсуждение

Многолетние исследования снежного покрова на территории, прилегающей к БрАЗу, показывают, что приоритетными химическими элементами-загрязнителями геосистем исследуемой территории являются фтор, натрий, алюминий и никель [4]. По сравнению

с алюминием и натрием фтор более токсичен (I класс опасности) относительно почвенной биоты и в большом количестве поступает на почвенный покров, особенно в виде подвижных растворимых солей (рис. 1 а). Напротив, алюминий поступает преимущественно в составе твердого малорастворимого вещества, накапливаясь в почвах и являясь долговременным источником подвижного алюминия. Его годовые нагрузки (68-296 т/км²) примерно на порядок выше нагрузок фтора и натрия (рис. 1, б), что объясняется как степенью растворимости их солей, так и уровнем содержания в исходном техногенном веществе [5].

Динамика потока поллютантов на прилегающую территорию во времени определяется, прежде всего, человеческим фактором – выполнением двух задач, которые заключаются в модернизации процесса производства алюминия с целью наращивания выпуска продукции и в удерживании отходящих пылегазовых примесей с целью соответствия экологическим нормам природопользования. После проведенных в 1996-1997 гг. на БрАЗе работ по внедрению технологии Soderberg, предусматривающей получение алюминия в электролизерах с самообжигающимися анодами, наблюдалась тенденция снижения нагрузок поллютантов, достигнув минимума к 2005 году (рис. 1). Увеличение выпуска продукции в 2008-2009 годах до рекордной величины 1 млн тонн алюминия в год соответственно усилило поток поллютантов в природную среду. Особенно это показательно относительно твердых и растворимых фторидов. К 2015 году проблема удерживания твердых фторидов, в какой то степени была решена, но очистка газообразной составляющей, судя по увеличению водорастворимых фторидов (рис. 1, а) еще находится в стадии решения. Между тем воздействие на компоненты геосистем поллютантов во многом зависит как от количества, так и формы их нахождения в зоне техногенеза.

Сравнительный анализ массовой доли химических элементов твердых аэрозолей и почв фона показал следующий ряд коэффициентов их потенциальной концентрации (K_c) в верхнем слое почв – $F_{50} Al_{5,2} Ni_{4,5} Co_2 Zn_{1,8} Cu_{1,8} Pb_{1,8}$. В качестве главных элементов-загрязнителей выделяются фтор, никель и алюминий. Суммарный индекс потенциального загрязнения (Z_c) для них составляет 61, 1 у.е. и оцениваются согласно [7] как высокий и опасный. В результате трансформации исходного твердого вещества аэрального потока и рассеяния поллютантов в толще почвенного профиля зоны загрязнения реально ассоциацию с аномальным валовым содержанием в верхнем

слое почв (0-10 см) по сравнению с почвами фона составляют шесть элементов – $F_{28,3}$, $Ni_{5,5}$, $Pb_{3,9}$, $Zn_{2,8}$, $Cu_{2,2}$, $Al_{1,9}$. Индекс суммарного загрязнения снижен по сравнению с потенциальным примерно в 2 раза (39,6 у.е.), оставаясь высоким и опасным.

Существенно обогащены по сравнению с водными растворами почв фона 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 составляет 290 у.е., что также соответствует очень высокому и опасному уровню.

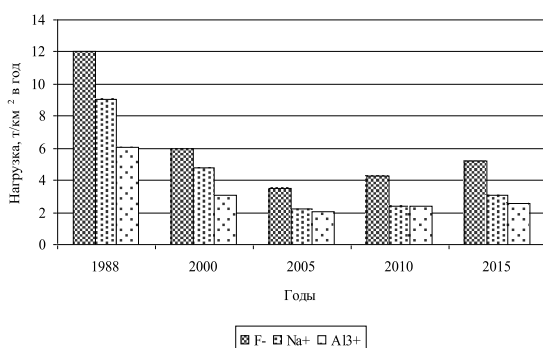
Из всех компонентов геосистем почва является наиболее значимым депонирующим звеном на пути миграции поллютантов. Длительное их поступление в природную среду привело к накоплению, как в подстилке и верхнем гумусовом горизонте почв, так и в более глубоких слоях (рис. 2).

Наибольшее накопление в почвах характерно для фтора. Его распределение по почвенному профилю дерново-подзолистых почв показало высокие уровни концентрации в мелкозем подстилки и слое фрагментарно сохранившихся мхов, а также дерновом горизонте АУ до 15 ПДК водорастворимого фтора (F^-) и от 3300 до 8000 мг/кг валового. Повышенное содержание фторид-иона (до 1 ПДК) в верхнем слое почв прослеживается до 9 км от завода в северо-восточном направлении, включая территорию г. Братска.

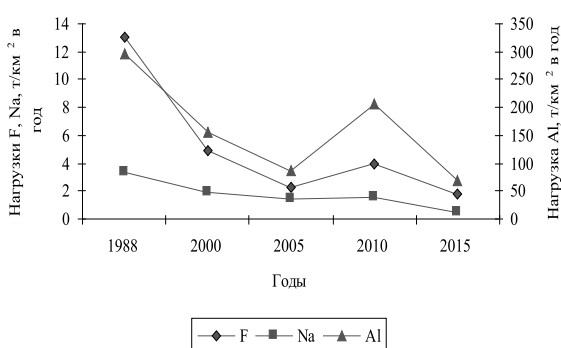
Динамика распределения водорастворимой и валовой форм элемента в почвенном профиле взаимосвязано (рис. 3). Для водорастворимой формы фтора характерна постепенная убыль концентраций до глубины 40-50 см (горизонт ВТ) с резким падением ниже. Исключение составил период 2010-2015 гг. с сильными засухами во время

которых почвенная масса уплотненного горизонта ВТ легко делилась на структурные отдельности, становилась трещиноватой и водопроницаемой, что прослеживается по увеличению фтора (F^-) в почвенном растворе нижних горизонтов почв (рис. 3, а). Выход элемента в водную вытяжку дернового горизонта достигает 10-11 % от общего количества. В иллювиальном и карбонатном горизонте водорастворимых фторидов заметно меньше – 0,3-0,5%. Поглощение фтора (F^-) почвой сопряжено с алюминием (Al^{3+}), в то время как значительная часть натрия (Na^+) остается в растворе и в условиях промывного водного режима может интенсивнее выноситься за пределы почвенного профиля (рис. 2, а). Этот процесс адекватно отражается на содержании валовой формы элементов (рис. 2, б), где прослеживается по сравнению с фоном увеличение концентраций алюминия в 1,2 раза, фтора в 6 раз, и снижение натрия в 4 раза.

В нормальных условиях увлажнения обогащенный илом горизонт ВТ, служит в качестве геохимического барьера. Наличие почвенно-геохимических барьеров удерживает водорастворимый фтор в слое 0-50 см, что создает условия для длительного его контакта с твердой фазой почв и перехода в поглощенную и другие малоподвижные формы, образуя с металлами плохо растворимые соединения [6]. Вероятно поэтому в обедненном илистой фракцией и металлами иллювиальном оподзоленном горизонте ЕL (20-30 см), как правило, процесс накопления фтора в валовой форме выражен слабее по сравнению с верхним дерновым горизонтом АУ (0-10) и нижележащими горизонтами, служащими в качестве геохимических барьеров: сорбционного (ВТ) и седиментационного (ВТса и Сса) (рис. 3).



а



б

Рис. 1. Динамика максимальных нагрузок приоритетных поллютантов вблизи алюминиевого завода: а – в составе растворимого вещества, б – в составе твердого вещества

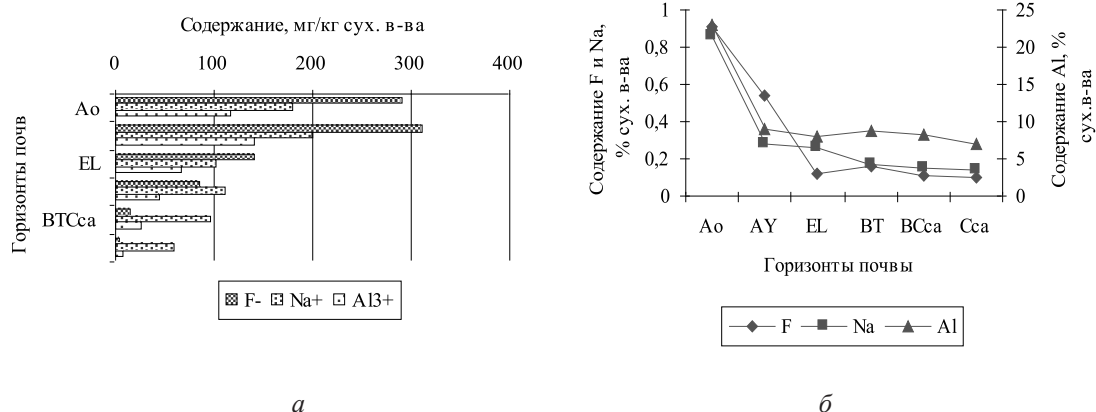


Рис. 2. Содержание загрязнителей в профиле дерново-подзолистой остаточно-карбонатной почвы: а – водорастворимая форма, б – валовая форма

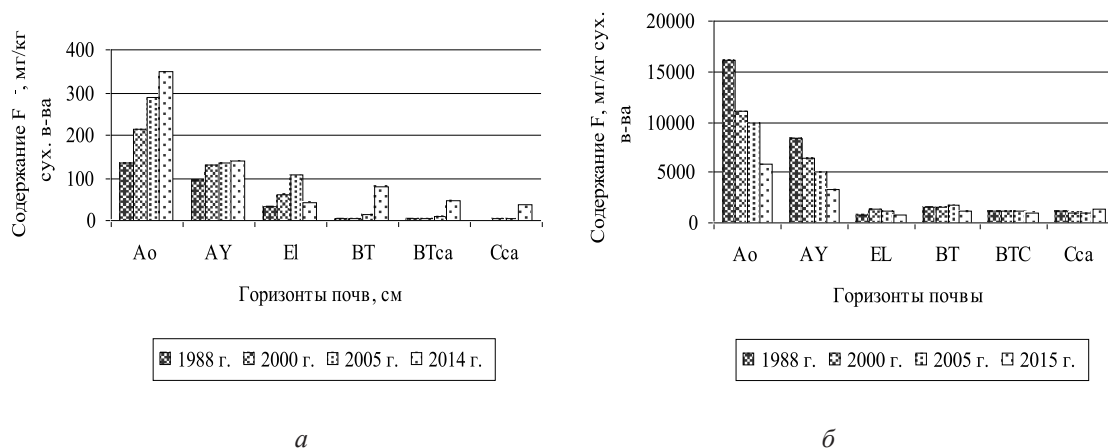


Рис. 3. Динамика содержания фтора в профиле дерново-подзолистой остаточно-карбонатной почвы: а – водорастворимая форма, б – валовое содержание

Динамика содержания фтора в почвах показывает постепенное во времени (после модернизации) снижение его валовой формы в подстилке (Ao) и дерновом горизонте (AY) и, напротив, увеличение водорастворимой формы, что может свидетельствовать о начавшемся процессе самоочищения почв вследствие снижения выбросов твердых и газообразных фторидов и перемещение их в карбонатную кору выветривания. Ранее отмечался процесс аккумуляции валового фтора в почвах, содержание которого в 1982 году (спустя 15 лет после пуска БрА-За) вблизи источника эмиссий составляло свыше 1000 мг/кг [10]. Позднее его количество увеличилось до 3400 мг/кг [9].

Не смотря на снижение к 2015 году нагрузок загрязнителей в водорастворимой

форме примерно в 2 раза, а в твердой малорастворимой форме в 3 раза проблема сокращения пылегазовых эмиссий, особенно газообразной составляющей, еще остается. Это связано не только с повышенным содержанием фторид-иона в снеге и почвах, но и с тем, что в последнее время (2011-2014 гг.) в результате аварийных выбросов в атмосферу наблюдается поражение хвои и листьев древесных пород, а также травянистого покрова.

Список литературы

1. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследования природных ландшафтов. 2-е изд. Смоленск-Москва: Ойкумена, 2002. – 288 с.
2. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические

нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 15 с.

3. ГОСТ 17.4.4.02-84. Методика отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – 10 с.

4. Давыдова Н.Д. Мониторинг природной среды регионов Сибири по загрязнению снежного покрова // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 8 (часть 3). – С. 469–475.

5. Давыдова Н.Д. Техногенные потоки поллютантов и изменение геохимической среды таежных и степных ландшафтов Сибири // Вестн. Тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18, вып. 3. – С. 961–966.

6. Моршина Т.Н., Фанаскова Т.П. Изменение заряда почвенных коллоидов при адсорбции фтора // Загрязнение почв и сопредельных сред токсикантами промышленного и сельскохозяйственного происхождения. – М.: Гидрометеоиздат, 1987. – Вып. 14 (129). – С. 57–4.

7. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. – М.: «Астрей-2000», 1999. – 763 с.

8. РД 52.24.360-2008. Массовая концентрация фторидов в водах. Методика выполнения измерений потенциометрическим методом с ионселективным электродом. – Ростов-на Дону, 2008. – 25 с.

9. Садовникова Л.К., Орлов Д.С., Лозановская И.Н. Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении. 3-е изд. – М.: Высшая школа, 2006. – 334 с.

10. Садыков О.Ф., Любашевский Н.М., Богачева И.А. и др. Некоторые экологические последствия техногенных выбросов фтора // Проблемы антропогенного воздействия на окружающую среду. – М.: Наука, 1985. – С. 43-53.

11. Сает Ю.Е., Смирнова Р.С. Геохимические принципы выявления зон воздействия промышленных выбросов в городских агломерациях // Вопросы географии. – М.: Мысль, 1983. Сб. 120. – С. 45-55.