

## Ландшафтно-геохимический подход в решении проблем загрязнения природной среды

Н. Д. ДАВЫДОВА, Т. И. ЗНАМЕНСКАЯ, Д. А. ЛОПАТКИН

*Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1  
E-mail: davydova@irigs.irk.ru*

Статья поступила 8.07.2013

### АННОТАЦИЯ

Показано, при каких нагрузках поллютантов осуществляется их аккумуляция в почвах с течением времени. Представлена карта загрязнения почв фтором, отражающая закономерности его вторичной дифференциации в степных геосистемах. Выявлены особенности распределения фтора в почвах в зависимости от природных условий, а также факторы, обеспечивающие самоочищение почв в условиях загрязнения. Установлена необходимость снижения пылегазовых эмиссий при производстве алюминия.

**Ключевые слова:** поллютанты, почвенный профиль, техногенные нагрузки, уровни содержания элементов, физико-химические и механические барьеры, миграция.

Возрастающее антропогенное воздействие на биосферу в условиях глобального изменения климата существенно повышает опасность и непредсказуемость последствий необдуманных решений и действий в сфере промышленности, строительства, сельского хозяйства и других видов деятельности. В период перехода от эпохи техногенеза к эпохе ноосферы для принятия решений на пути разумного формирования биосферы необходимы количественные показатели о существенном изменении компонентов и элементов геосистем под давлением антропогенных факторов. Одной из причин, способствующих утрате важного качества геосистем – плодородия почв, является их химическое загрязнение в результате поступления большого количества веществ от промышленных предприятий и интенсивной эксплуатации в условиях сельскохозяйственного использова-

ния. Выявление таких территорий с целью предотвращения деградации почв является актуальной задачей.

Для Сибири серьезной проблемой в сфере экологии стало строительство и ввод в эксплуатацию алюминиевых заводов. Еще на стадии их планирования допускаются ошибки и просчеты, нарушающие международные нормы по выпуску продукции (200–300 тыс. т/год), что ограничивает общий выброс в атмосферу токсичных веществ. Однако при строительстве гигантов алюминия в Сибири это не учитывалось. Главная цель – повысить рентабельность производства за счет дешевой энергии гидроэлектростанций и большого количества выпускаемой продукции. С каждым годом мощности заводов растут, стремясь к миллионному рубежу. В условиях такой политики частичное принятие мер по снижению выбросов мало что меня-

ет. На территории, прилегающей к предприятиям алюминиевого производства, образуются ореолы рассеяния химических элементов и их соединений радиусом от 3 до 10 км, которые со временем превращаются в геохимические аномалии [Садыков и др., 1985; Давыдова, 2012; Евдокимова, Мозгова, 2013].

Формирование техногенных геохимических аномалий – сложный процесс, в котором участвуют все компоненты и элементы геосистем, преобразуя поступающий поток веществ. Контрастность аномалий, направленность развития и уровень трансформации в них компонентов геосистем зависят от модуля давления, состава и формы нахождения привнесенных веществ, структуры и типа исходных ландшафтов. Геосистемы сформированных техногенных аномалий выделяются значительным по сравнению с фоном (в 10 и более раз) увеличением мощности миграционных потоков химических элементов, что приводит их к геохимической конвергенции. Важная роль в этом процессе принадлежит почвам. Генетические горизонты почв, как в природных, так и в техногенных условиях, выступают в качестве многослойного фильтра. Каждый слой имеет моно- или полифункциональные свойства – сорбционные, кислотные, щелочные и др., поэтому почва рассматривается как система геохимических барьеров [Глазовская, 1988; Перельман, 1989; Давыдова, 2005], имеющих существенное значение при формировании техногенных аномалий. В закреплении загрязняющих веществ участвует весь почвенный профиль, но, как правило, в большей степени они накапливаются в верхнем ее слое. Просачивающиеся сквозь этот слой атмосферные осадки обогащаются растворимыми солями и переносят их в более глубокие горизонты, которые выступают в качестве геохимических барьеров. Относительно полное выведение избытка веществ из водно-миграционного потока происходит уже за пределами почвенного профиля в толще щебнисто-глыбистых отложений и в обводненной зоне трещиноватых коренных пород [Аржанова, Елпатьевский, 1990], или с грунтовыми водами сбрасываются в речную сеть.

Одной из задач ландшафтно-геохимического мониторинга близких по сходству есте-

ственных и нарушенных в результате техногенеза геосистем является выявление их различий по геохимическим показателям, установление величины отклонений от нормы и степени влияния привнесенных с техногенными потоками веществ на компоненты геосистем, процессы их функционирования, качество и количество биологической продукции. Все это дает возможность управлять процессом техногенеза посредством нормирования нагрузок.

Цель исследований – с помощью картографических моделей распределения фтора в снежном и почвенном покровах, а также степени совместимости их ореолов показать масштабы и уровень загрязнения территории, прилегающей к алюминиевым заводам. Установить нагрузки поллютантов и выявить закономерности первичного и вторичного распределения наиболее экологически опасного химического элемента – фтора в почвах в зависимости от ландшафтной обстановки. Оценить, при каких нагрузках происходит аккумуляция водорастворимой формы этого элемента в почвах по отношению к ПДК, и если превышение наблюдается за пределами санитарной зоны, указать на необходимость снижения пылегазовых эмиссий предприятиями цветной металлургии ОАО РУСАЛ “Саяногорск”, находящимися в пределах исследуемой территории.

#### **МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ**

Объект изучения – степные геосистемы юга Минусинской котловины гор Южной Сибири, важным компонентом которых являются плодородные черноземы и каштановые почвы. В сельскохозяйственном отношении эта территория давно освоена. В настоящее время здесь на базе Саяно-Шушенской ГЭС развивается территориально-промышленный комплекс с энергоемким производством. Наиболее мощный производитель продукции – предприятия ОАО РУСАЛ “Саяногорск” (Саяногорский и Хакасский алюминиевые заводы), выпускающие в год более 800 тыс. т алюминия. Разумеется, основное количество претензий и вопросов, касающихся качества окружающей среды поступает в адрес хозяев указанных заводов.

Сбор полевых материалов и оценка влияния пылегазовых эмиссий на компоненты геосистем проводились по широкой комплексной программе [Волкова, Давыдова, 1987], основанной на принципах и методах геохимии ландшафта [Глазовская, 1964; Перельман, 1975; Перельман, Касимов, 1999].

Техногенные потоки веществ устанавливались посредством измерения концентраций химических элементов в снежном покрове, отражающем загрязнение воздушного бассейна. Изучался вещественный состав пылегазовых эмиссий, первичное распределение приоритетных поллютантов в пространстве и вторичная их дифференциация в почвах, а также их влияние на химический состав и свойства почв. Для этого пробы снега и почв отбирались по радиально-лучевой системе от источника эмиссий с целью отображения индикативных количественных показателей на картосхемах. Частота отбора проб уменьшалась по мере удаления от заводов, которое составляло 30–40 км. При этом учитывались ландшафтные особенности территории: рельеф, степень залесенности, нарушение травяного и почвенного покровов в результате сельскохозяйственного использования, направление преобладающих воздушных потоков массопереноса от источников эмиссий, а также степень доступности. Отбор проб снега проводился на всю глубину снежного пласта с определенной учетной площади пластиковым цилиндром или совком в полиэтиленовые пакеты [Давыдова и др., 2013]. Пробы почв также отбирались в полиэтиленовые пакеты из верхнего (0–10 см) слоя – по всем точкам, из опорных разрезов с шагом 10 см – по всей глубине профиля, включая подстилающую породу.

Количественный химический анализ проб различного состава на широкий круг элементов 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 утвержденным методикам. Содержание фтора в аэрозолях, почвах и почвообразующих породах (твердая

и жидкая фазы) определялось потенциометрическим методом с помощью фторселективного электрода ЭЛИС-131F. Более подробно методы количественного химического анализа изложены в [Давыдова и др., 2013].

Для отображения полей распределения концентраций поллютантов в снежном покрове и почвах применялась пространственная интерполяция данных методом ближайшего соседства (nearest-neighbor interpolation).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что основная масса аэрозолей, в том числе водорастворимых привносится на прилегающую к заводам ОАО РУСАЛ территорию (рис. 1), но наиболее легкие твердые частицы и газообразные вещества уносятся на расстояние 30–40 км и далее. Существенное влияние на природную среду могут оказать токсичные химические элементы, превышающие фон в десятки раз. В данном случае к ним относятся фтор, натрий, алюминий и в какой-то мере никель [Давыдова и др., 2013]. Фтор является элементом 1-го класса опасности для почв и 2-го класса для воды и атмосферы.

Увалистая поверхность не является серьезной преградой на пути распространения пылегазовых эмиссий, но заметно влияет на первичное распределение поллютантов в геосистемах. Эта закономерность прослеживается на ландшафтно-геохимическом профиле, секущем территорию в север-северо-западном направлении от заводов (рис. 2). Повышенная масса аэрозольных выпадений отмечается на наветренных склонах и вершинных поверхностях (7; 10,5; 11 км). В ветровой тени, как правило, их количество снижено (8–9 км). Из трех приоритетных элементов-загрязнителей относительно высокими нагрузками выделяется фтор (см. рис. 2, 3). Расчеты показали некоторое преобладание нагрузок водорастворимого фтора над мало растворимым и их сильное изменение в пространстве от менее 5 мг/м<sup>2</sup> на периферии до 5 г/м<sup>2</sup> в год суммарно вблизи заводов (см. рис. 3). Основная масса поллютанта оседает в санитарно-защитной зоне, которую в 2011 г. пришлось расширить до 2,5 км [Об установлении..., 2013]. Однако и оставшегося его ко-

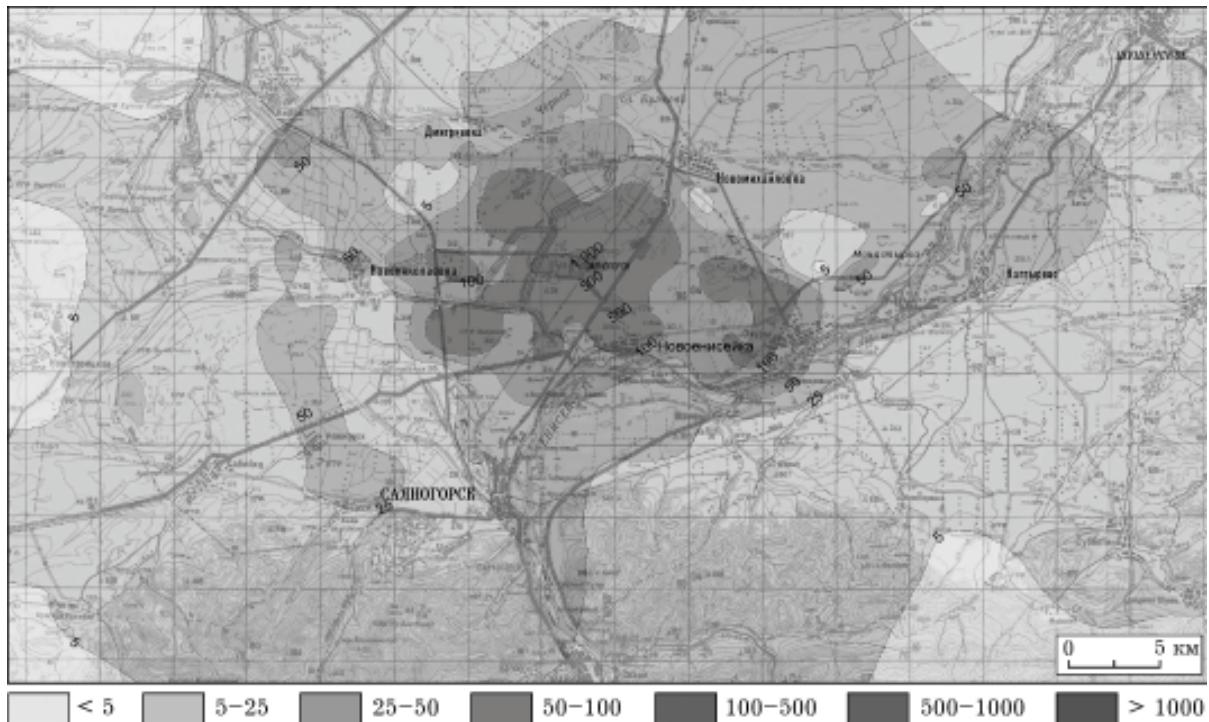


Рис. 1. Карта накопления водорастворимого фтора ( $\text{мг}/\text{м}^2$ ) в снежном покрове за зимний период территории, прилегающей к алюминиевым заводам ОАО РУСАЛ «Саяногорск»

личества в техногенном потоке достаточно, чтобы с течением времени почвы за пределами санитарно-защитной зоны обогащались фтором выше установленной нормы.

Вторичное перераспределение поллютантов в почвах зависит от рельефа и многих других факторов, таких как гранулометрический состав, плотность и сложение почв, температура, условия увлажнения-иссушения, наличие физико-химических и механических барьеров и т. д. Все многообразие природных условий отражается на процессах миграции – аккумуляции поллютантов в поч-

вах. Часто об этом приходится делать выводы, основываясь на показателях уровней содержания химических элементов, находящихся в статике или различных формах движения.

При изучении загрязнения почвенного покрова большое внимание уделяется подвижным формам химических элементов, в том числе водорастворимым, которые представляют наиболее мобильную часть веществ. Кроме того, они активно поглощаются растениями и вовлекаются в биологический круговорот. К таким элементам относится и фтор.

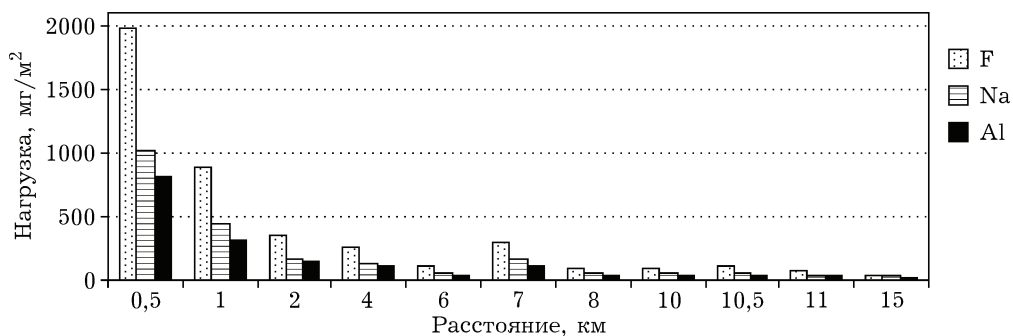


Рис. 2. Годовые нагрузки приоритетных элементов-загрязнителей в водорастворимой форме на территорию, прилегающую к предприятиям ОАО РУСАЛ «Саяногорск» в направлении север-северо-запад

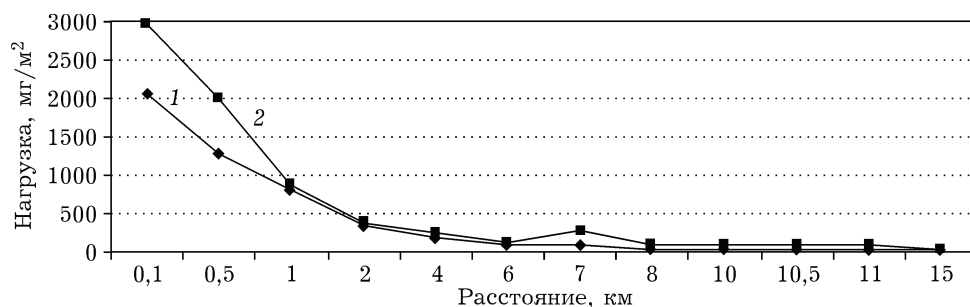


Рис. 3. Годовые нагрузки фтора на территорию, прилегающую к предприятиям ОАО РУСАЛ “Саяногорск” в направлении север-северо-запад: 1 – малорастворимая в воде форма, 2 – растворимая в воде форма

Он достаточно легко поддается диагностике, в отличие от натрия и алюминия. Это связано с тем, что степные почвы в той или иной мере засолены (см. таблицу), и в условиях щелочной среды изначально содержат повышенное количество водорастворимого натрия, который как бы маскирует привнесенное вещество. Алюминий из техногенного потока поступает преимущественно в малорастворимой форме в составе твердых аэрозолей, и его распределение ограничено в пространстве [Давыдова и др., 2013]. Содержание валового алюминия в слое почв 0–10 см вблизи завода не превышает 8 %. В некоторых горизонтах почв, где реакция среды близка к нейтральной, алюминий малоподвижен, но в засоленных слоях в условиях щелочной среды содержание его водорастворимой формы, так же как и натрия, резко возрастает. В условиях тайги, где распространены подзолистые и дерново-подзолистые почвы, на фоне природного малого количества водорастворимых веществ вклад достаточно мощной техногенной составляющей и ее влияние на почвенно-геохимические процессы оценить значительно проще. Выявлено, что в почвах, находящихся более 45 лет в зоне воздействия пылегазовых эмиссий крупного алюминиевого завода, протекают процессы аллитизации и десиликации [Давыдова, 2012].

Необходимо отметить, что на исследуемой территории при оценке уровней накопления фтора в нижних горизонтах почв увалов следует учитывать возможность его изначальной природной аккумуляции за счет повышенного содержания в почвообразующих породах и последующей дифференци-

ции в профиле в результате почвообразования. По данным Н. А. Егуновой [2007] делювиальные облесованные желто-бурые суглинки содержат 1,04–3,91 мг/кг водорастворимого фтора, аллювиальные отложения – 1,94–3,53 мг/кг, элювий плотных пород – 0,91–1,83 мг/кг. Наибольшее его количество находится в элювии красноцветных пород (4,20–9,59 мг/кг). В незагрязненных почвах [Танделов, 2004] концентрация фтора в почвообразующих породах может быть в несколько раз выше, чем в гумусовом горизонте. В загрязненных черноземах [Егунова, 2007], на удалении 10–15 км от алюминиевых заводов, максимальное содержание элемента (7,20–8,30 мг/кг) приурочено к горизонтам с признаками солонцеватости и с карбонатными новообразованиями, которые автор считает биогеохимическими барьерами для дальнейшей миграции фтора.

Сходные результаты получены и нами. Повышенным количеством (до 610 мг/кг) валовой формы фтора и водорастворимой (3,2–9,4 мг/кг) также отличаются элювиальные отложения красноцветной коры выветривания. В почвах фона наибольшее содержание элемента приурочено к засоленным и солонцовым горизонтам, и может достигать уровня 1 ПДК, а в отдельных случаях – 2 ПДК. Условия повышенного геохимического фона должны учитываться при планировании строительства промышленных предприятий, так как наложение сходных по химическому составу техногенных потоков повышает степень экологической опасности, что будет показано далее.

Обычно картографическое отображение моно- и полиэлементного загрязнения почвен-

Химический состав водной вытяжки из почв (числитель – ммоль/100 г почвы, знаменатель – мг/дм<sup>3</sup>)

Горизонт	Глубина, см	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	ΣА*	ΣК**	Минерализация ***
Аллювиальная торфяно-глиево-солончаковая														
At	0-10	-	0,10	0,25	2,04	0,06	1,14	0,50	0,03	0,38	0,54	2,46	2,59	0,174
A	10-23	-	0,10	0,20	2,94	0,05	1,58	0,79	0,01	0,17	0,75	3,29	3,31	0,223
Bg	37-43	-	0,13	0,25	1,2	0,02	1,08	0,12	0,01	0,05	0,34	1,60	1,60	0,109
			15,25	17,75	115,20	1,54	49,08	2,98	0,09	3,84	15,80	-	-	222
Чернозем тектурно-карбонатный солонцеватый														
A	0-12	-	0,03	0,13	0,55	0,03	0,39	0,23	0,04	0,01	0,04	0,74	0,71	0,047
Bsn	12-33	0,05	0,14	0,06	4,25	0,03	0,56	0,55	0,02	0,005	3,99	5,19	5,12	0,351
Bcas	33-43	-	0,04	1,65	16,35	0,02	8,04	4,18	0,02	0,01	5,83	-	-	1,193
			4,88	117,15	1569,60	1,54	321,60	100,40	0,36	0,58	268,00	-	-	2386

\*Сумма анионов; \*\*Сумма катионов; \*\*\*Минерализация (числитель – %, знаменатель – мг/дм<sup>3</sup>).

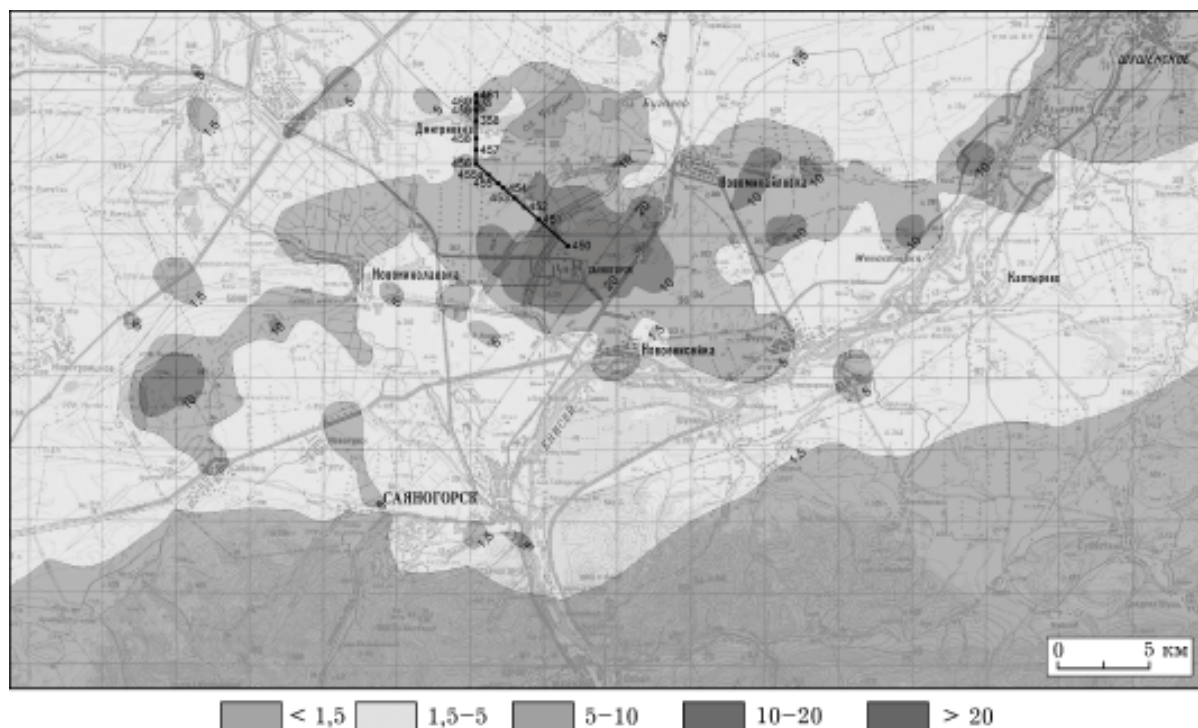


Рис. 4. Карта распределения водорастворимого фтора (мг/кг) в почвах (0–10 см) территории, прилегающей к алюминиевым заводам ОАО РУСАЛ “Саяногорск”

ного покрова проводится для верхнего слоя (0–10 см) так как в первую очередь именно здесь происходит накопление поллютантов, особенно в малорастворимой форме. С течением времени под действием сил гравитации они постепенно проникают вглубь по порам и трещинам в составе твердых частиц и водных растворов, распределяясь по почвенному профилю в зависимости от его физико-химических свойств монотонно или дифференцированно.

Сравнительный анализ полей распределения водорастворимого фтора в верхнем слое почв (рис. 4) и его нагрузок за зимний период (см. рис. 1), рассчитанных по содержанию в снежном покрове, показывает как их сходство, так и различие. Основное сходство заключается в том, что ореолы существенного загрязнения снега и почв тяготеют к территории расположения алюминиевых заводов и их окрестностей на расстоянии от 3 до 5 км. При этом годовое поступление водорастворимого фтора в количестве 250–300 мг/м<sup>2</sup> в течение 26 лет привело к увеличению его содержания в почвах до ПДК (10 мг/кг) и более. Наибольшее количество токсиканта

содержится в почвах санитарной зоны (более 2 ПДК). Значительные площади плодородных почв загрязнены в интервале от 0,5 до 1 ПДК по изолинии, соответствующей нагрузке водорастворимого фтора 25–50 мг/м<sup>2</sup> за зиму. Вследствие неоднородности рельефа и литологической основы распределение элемента-загрязнителя здесь более дискретно (см. рис. 4). Повышенное содержание фтора приурочено к ложбинам стока, вершинам увалов и наветренным склонам. Для более ясного представления о поведении поллютантов в геосистемах исследования проводились на площадках ландшафтно-геохимического профиля (см. рис. 4, 5), где было заложено 14 почвенных разрезов (450–461) на разном расстоянии от источника эмиссий – 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 5,5; 6,0; 7,0; 8,0; 8,5; 9,0; 10,0; 10,5; 11,0 км соответственно.

Очень важно отметить, что средняя часть Абакано-Енисейского междуречья, где расположены заводы, представлена древней долиной р. Енисей и заполнена песчано-галечниковыми отложениями высокой степени фильтрации. Указанная особенность состава и сложения грунтов обеспечивает высокую

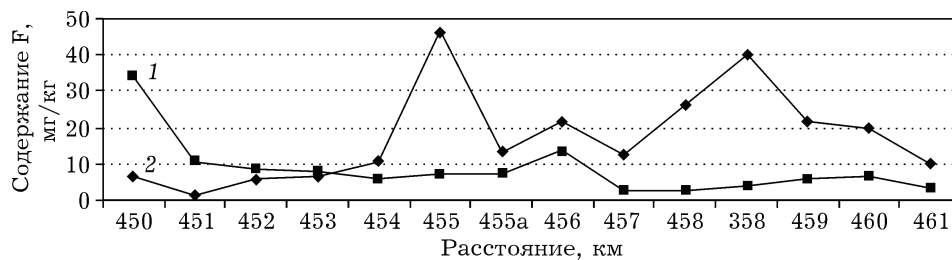


Рис. 5. Содержание водорастворимого фтора в почвах территории, прилегающей к алюминиевым заводам ОАО РУСАЛ “Саяногорск” (север-северо-запад): 1 – в слое 0–10 см, 2 – в слое 50–100 см

способность почв к самоочищению и является причиной возникновения у некоторых исследователей ошибочного мнения о слабом влиянии эмиссий завода на почвенный покров [Савкова, Новожилова, 2012].

Несмотря на высокую способность долинных геосистем к самоочищению, неумеренные выбросы в атмосферу в течение 26 лет привели к их существенному загрязнению. Так, верхний слой (0–10 см) черноземов дисперсно-карбонатных, находящихся в 2 км от завода (разрез 450), обогащен водорастворимым фтором до 3,5 ПДК (см. рис. 5). Повышенные концентрации поллютанта в пределах ПДК в этом слое прослеживаются на расстоянии до 4 км. Нижние слои почвенного профиля также содержат повышенное количество поллютанта. Исключение составляют аллювиальные торфяно-глеевые почвы, которые приурочены к слабо заболоченным пониженным участкам на галечниках с периодическим оттоком воды (разрез 451).

Черноземы и каштановые текстурно-карбонатные почвы увалов более реально отражают последствия неумеренных выбросов в атмосферу. Они загрязняются с большей интенсивностью (особенно на вершинных поверхностях и наветренных склонах) нежели почвы долины, так как имеют суглинистый гранулометрический состав и плотное сложение. Казалось бы, в таком случае поллютанты должны накапливаться в верхнем полуметровом слое, однако максимум их содержания приурочен ко второму полуметровому слою (см. рис. 5) и глубже. Это обусловлено не только их природным обогащением, но и проникновением техногенного фтора с водными растворами весной и во время летне-осенних дождей вниз по микропорам, ходам стержневых корней и почвенных беспозвоноч-

ных, а также термотрещинам, что является характерной особенностью данного типа черноземов. Близкие или равные ПДК концентрации водорастворимого фтора обнаруживаются в верхнем (0–10 см) гумусовом горизонте АУ чернозема текстурно-карбонатного (разрез 456), заложенного на вершинной поверхности на расстоянии 7 км от заводов (гора Чалпан). Подгумусовый горизонт САТ до глубины 30–40 см обычно содержит наименьшее количество поллютанта. Его аккумуляция начинается с 40–50 см. В почвах вершинных поверхностей (разрезы 455, 456) слой, максимально обогащенный фтором (до 4 ПДК), располагается на глубине 80–90 см, и повышенные его содержания (до 2 ПДК) прослеживаются на глубине 130–150 см. Накопление этого элемента в нижних горизонтах проявляется и в аллювиальной темнугумусовой засоленной почве (разрез 358) озерной депрессии, которая расположена между увалами на участке древней долины р. Енисей. Наибольшему загрязнению подвергаются трудно проницаемые для водных растворов черноземы и каштановые текстурно-карбонатные солонцеватые почвы южных склонов увалов, обращенные к алюминиевым заводам. Таким примером может служить разрез 460, находящийся на удалении 10,5 км от заводов (см. рис. 5). Высокую аккумулятивную способность проявляют торфянистые и засоленные горизонты аллювиальных почв, в которых на периферии ореола загрязнения содержится фтора на уровне ПДК (см. рис. 4).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований показывают, что распределение поллютантов на территории,



прилегающей к источникам пылегазовых эмиссий, полностью зависит от ландшафтной обстановки. В первичном распределении важная роль принадлежит климатическим факторам массопереноса (направление и скорость ветра), рельефу (вершины, величина уклона поверхности, наветренный или подветренный склон), а также растительности (лесная, травянистая). Вторичное перераспределение в большей степени зависит от дифференциации почвенного покрова, плотности, сложения, гранулометрического состава почв и грунтов, реакции среды, количества атмосферных осадков, исходного уровня содержания химических элементов, растительности (биологического круговорота).

Установлено, что в условиях степного ландшафта нагрузки водорастворимого фтора в количестве 1–2 кг/га в год, в сумме примерно с таким же количеством мало растворимого, в течение 26 лет, привели к повышению его содержания в верхнем слое почв (0–10 см) от 0,5 до 1 ПДК. Соответственно, привнесение 6 кг/га в год повышает содержание в почвах до 2 ПДК и т. д. Отмечено увеличение содержания валовой формы фтора. В разных направлениях от заводов на расстоянии до 3–5 км его содержание в верхнем слое почв (0–10 см) варьирует от 500 до 800 мг/кг, местами – к 1000–2000 мг/кг. Кроме того, водорастворимый фтор проникает вглубь почвенного профиля и накапливается совместно с другими растворимыми солями на разных глубинах по слоям, “копируя” их путь миграции. Масса водорастворимого фтора находится как бы в подвешенном состоянии, и в условиях поливного земледелия может представлять определенную опасность возврата на поверхность в результате десукции и физического испарения или проникать в грунтовые воды.

Загрязнение почв свыше установленной нормы является свидетельством формирования фторидной геохимической аномалии. В ее ореоле фтор присутствует во всех компонентах геосистем: атмосферном воздухе, снежном покрове, дождевой воде, растениях, твердой фазе почв, почвенных растворах и грунтовых водах депрессий. Все это указывает на необходимость снижения на 30–50 % пылегазовых эмиссий заводов ОАО РУСАЛ

«Саяногорск» с применением мониторингового сопровождения.

Явление повышенного геохимического фона на исследуемой территории относительно фтора и натрия не должно умалять экологической ответственности хозяев предприятий, а, напротив, обязывает их учитывать этот факт и совершенствовать технологию очистки пылегазовых эмиссий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 14-05-00183).

#### ЛИТЕРАТУРА

- Аржанова В. С., Елпатьевский П. В. Геохимия ландшафтов и техногенез. М.: Наука, 1990. 196 с.
- Волкова В. Г., Давыдова Н. Д. Техногенез и трансформация ландшафтов. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1987. 190 с.
- Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высш. шк., 1988. 324 с.
- Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1964. 230 с.
- Давыдова Н. Д. Трансформация геохимической среды в техногенной аномалии // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2012. № 3 (20). С. 56–65.
- Давыдова Н. Д. Ландшафтно-геохимические барьеры и их классификация // География и природ. ресурсы. 2005. № 4. С. 24–30.
- Давыдова Н. Д., Знаменская Т. И., Лопаткин Д. А. Выявление химических элементов-загрязнителей и их первичное распределение на территории степей юга Минусинской котловины // Сиб. экол. журн. 2013. № 2. С. 285–294 [Davydova N. D., Znamenskaya T. I., Lopatkin D. A. Identification of Chemical Elements as Pollutants and Their Primary Distribution in Steppes of the Southern Minusinsk Depression // Contemporary Problems of Ecology. 2013. Vol. 6, N 2. P. 228–235].
- Евдокимова Г. А., Мозгова Н. П. Сравнительная оценка загрязнения почв в зоне воздействия аэротехногенных выбросов Кандалакшского алюминиевого завода // Современные проблемы загрязнения почв. М.: Изд-во МГУ, 2013. С. 87–91.
- Егунова Н. А. Мониторинг экологического состояния почв в зоне техногенного воздействия Саянского алюминиевого завода: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2007. 52 с.
- Об установлении санитарно-защитной зоны имущественного комплекса Саянского промузла объединенной Компании РУСАЛ на территории Республики Хакасия // Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 2 сентября 2011 г. № 118, г. Москва. Зарегистрирован в Минюсте 30.09.2011 г. Регистрационный номер № 21951.
- Перельман А. И. Геохимия. М.: Высш. шк., 1989. 341 с.
- Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М.: Высш. шк., 1975. 341 с.

Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М.: "Астрейя-2000", 1999. 763 с.  
Савкова В. П., Новожилова Л. П. Оценка воздействия Саяногорского алюминиевого завода на почвенный покров // Почвы Хакасии, их использование и охрана. Абакан: ООО «Кооператив "Журналист"», 2012. С. 196–199.

Садьков О. Ф., Любашевский Н. М., Богачева И. А., Троценко Г. В., Попов Б. В. Некоторые экологические последствия техногенных выбросов фтора // Проблемы антропогенного воздействия на окружающую среду. М.: Наука, 1985. С. 43–53.  
Танделов Ю. П. Фтор в системе почва – растение. М.: Изд-во МГУ, 2004. 106 с.

## Lansscapt-Geochemical Approach to Solving the Problem of Environmental Pollution

N. D. DAVYDOVA, T. I. ZNAMENSKAYA, D. A. LOPATKIN

*V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS  
664033, Irkutsk, Ulan-Batorskaya str., 1  
E-mail: davydova@irigs.irk.ru*

The paper shows under what loads of pollutants occurs their accumulation in soils with the course of time. A map of soil contamination with fluorine, reflecting the patterns of its secondary differentiation in steppe geosystems, is presented. The features of fluorine distribution in soils depending on the environmental conditions, as well as the factors that ensure self-cleaning of contaminated soils are revealed. The necessity to reduce dust and gas emissions during the production of aluminum is emphasized.

**Key words:** pollutants, soil profile, technogenic loads, levels of elements contents, physicochemical and mechanical barriers, migration.