



УДК 631.453 + 504.453 (572)

Фторидное загрязнение серых лесных почв, находящихся в зоне влияния Иркутского алюминиевого завода

А. А. Козлова¹, О. Г. Лопатовская¹, Н. И. Гранина¹, Е. В. Чипанина²,
Е. В. Кучменко³, А. Н. Бобров¹

¹Иркутский государственный университет, Иркутск

²Лимнологический институт СО РАН, Иркутск

³Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН, Иркутск

E-mail: allak2008@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается тип аэротехногенного воздействия на состояние серых лесных почв в условиях резко континентального климата, связанный с деятельностью алюминиевого завода. Специфика техногенного влияния в данном случае обусловлена аэральным поступлением в окружающую среду фторидов в составе пылегазовых эмиссий предприятия.

Ключевые слова: Техногенное загрязнение почв, пылегазовые эмиссии предприятия, фториды, антропогенно-преобразованные и фоновые почвы

Введение

Техногенное загрязнение почв является существенным негативным фактором, влияющим не только на отдельные экосистемы, но и на состояние биосферы. Характеристика типов техногенного воздействия связана с характером производства, путями переноса отходов, их агрегатным состоянием и химическим составом [2]. Газообразные и пылеватые вещества, поступающие в атмосферу, в составе производственных выбросов, вызывают локальное, а также глобальное загрязнение природной среды [18]. Почва находится на пересечении всех транспортных путей миграции химических элементов, поэтому её можно считать индикатором геохимической обстановки ландшафта.

Загрязнение почв фторидами представляет особую опасность, поскольку они относятся к 1-му классу высокотоксичных веществ. Известно, что накопление фторидов в почве способствует разрушению их структуры, изменению кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных свойств, негативно влияет на состояние почвенного микробного комплекса и биологическую активность почв [5; 7; 9; 10; 11; 20; 21], увеличивает подвижность гумусовых веществ [19; 28].

Целью исследования стало установление степени загрязнения антропогенно-преобразованных почв фторидами, имеющими сильную и сла-

бую степень нарушенности почвенного профиля и сравнение их с фоновыми почвами.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в зоне воздействия эмиссий Иркутского алюминиевого завода филиала ОАО РУСАЛ (далее – ИркАЗ), расположенного в долине р. Олхи (1-я и 2-я надпойменная терраса) [15] (рис.).

Почвенный покров в зоне влияния выбросов завода представлен серыми лесными почвами средне- и легкосуглинистыми, местами супесчаными. Общим признаком является малая мощность гумусового профиля, длительное и глубокое промерзание почв, низкая степень оподзоленности, слабокислая близкая к нейтральной реакция среды, высокая степень насыщенности основаниями. Для территории характерна высокая степень освоенности.

Объектами исследования послужили антропогенно-преобразованные серые лесные почвы сильной и слабой степени нарушенности в районе ИркАЗа. В качестве фоновых почв выступили серые лесные почвы Иркутско-Черемховской равнины (окрестности с. Смоленщина и п. Мегет), развитые на суглинистых и супесчаных породах, удаленные от завода – источника загрязнения на 15–30 км. Ниже приводится морфологическое описание исследуемых почв.

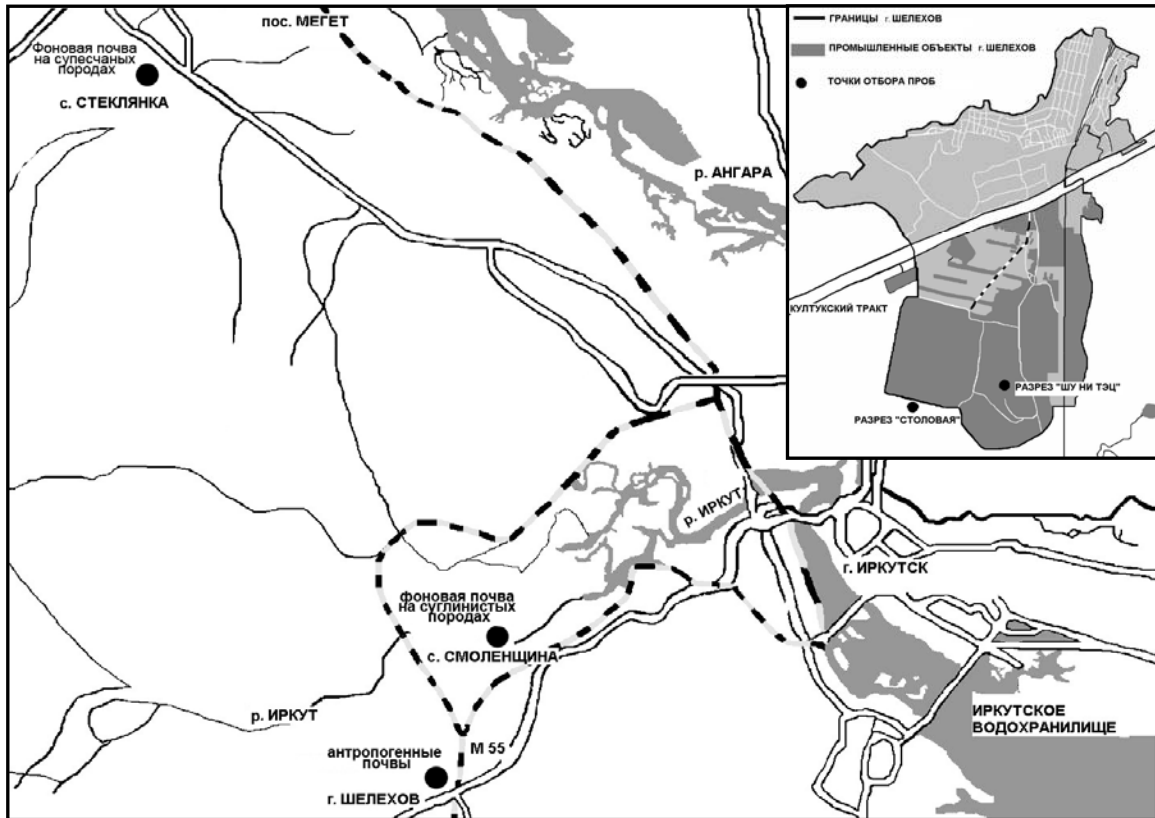


Рис. Карта-схема района исследований: ● – точки отбора проб

Разрез ШУ НИ ТЭЦ (Шелеховский участок Ново-Иркутской ТЭЦ ОАО «Иркутскэнерго») заложен в 20 км от г. Иркутска по автодороге М-55 (Култукский тракт), в 50 м от границы территории ТЭЦ на восток и в 30 м от развилки дорог на северо-запад в непосредственной близости от источника загрязнения в пределах промышленной зоны. Разрез находится в верхней части пологого склона юго-восточной экспозиции. Ландшафт в месте закладки техногенный, естественная поверхность полностью нарушена и засыпана гравием, использовавшимся ранее при строительстве дороги. Растительность травянистая, в травостое присутствуют злаки (мятлик, коострец) и бобовые (донник жёлтый, люцерна), однако преобладает разнотравье (полынь обыкновенная, скерда, тысячелистник). Состояние растительности угнетённое. Проективное покрытие 20–30 %. Согласно Классификации городских почв [26], исследуемую почву можно отнести к техногенным поверхностным почвоподобным образованиям – урботехноземам с формулой профиля Ud–B–[Uh], по Классификации почв России [17] – к урбиквазиземам. Наблюдается вскипание горизонта В от 10 % HCl.

Разрез «Столовая» находится в средней части макросклона восточной экспозиции в 11 м от дороги на юго-восток, заложен как за-

чистка на стенке промоины. Разрез находится менее чем в 500 м от источника загрязнения в санитарно-защитной зоне завода. Растительность: березовый лес с разреженным травянистым покровом (мятлик, тысячелистник, мох кукушкин лён). Проективное покрытие травянистого покрова составляет менее 10 %. Близ леса, в котором заложен разрез, расположена залежь, по-видимому, зона опашивания ИркА-За, занятая пышным разнотравьем (кипрей, кровохлебка, коострец и др.). Профиль залегания горизонтов соответствует естественной почве с формулой AY–AEL–BEL. Тип почвы по [17] соответствует серой типичной. Почва по всему профилю разреза не вскипает от 10 % HCl.

Фоновый *разрез 2* заложен на водоразделе рек Иркут – Кая, в 5 км к юго-западу от г. Иркутска и в 15 км от источника загрязнения на суглинистых отложениях. Он находится в 100 м от восточной окраины с. Смоленщина в средней части склона юго-восточной экспозиции с уклоном 8–10°. Растительность: березняк папоротниковый. Вскипание от 10 % HCl наблюдается с глубины 78 см. Строение профиля соответствует формуле AY–AEL–BEL–Bt–Bca–Cca. Название почвы согласно [17] – серая остаточнокarbonатная на суглинистых отложениях.

Фоновый *разрез 3* заложен в долине р. Мегет в 21 км от Иркутска на северо-запад по автодороге М-55 (Московский тракт), в 35 км от источника загрязнения на супесчаных отложениях. Расположен в 300 м от дороги в западном направлении в нижней части пологого склона западной экспозиции с уклоном менее 5°. Растительность: березняк разнотравный. Строение профиля соответствует формуле: АУ–АЕЛ–ВЕЛ–Вt–С. Тип почвы: серая типичная на супесчаных отложениях [17]. Почва не вскипает от 10%-ной НСl по всей глубине профиля.

Определение физико-химических свойств почв проводили методами потенциометрии, титрования, гравиметрии [1; 3]. Состав и содержание водорастворимого вещества почв определяли методом ионной хроматографии (НСO₃⁻, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻) [4; 25; 29]; ионоселективным методом (F⁻) [22]; методом атомной абсорбции (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) [27].

Результаты и обсуждение

Сравнительные исследования физико-химических свойств почв, подвергнутых антропогенному воздействию в районе ИркаЗа, и фоновых почв выявили значительные их отличия (табл. 1).

Органическая часть почвы, определяющая её поглотительную способность, представлена преимущественно гумусовыми веществами. По содержанию гумуса антропогенные почвы значительно (в 1,5–2 раза) уступают фоновым, что указывает на более низкую буферную способность находящихся в зоне воздействия завода почв, особенно урбиквазизема.

Содержание и состав обменных катионов характеризуют ёмкость катионного обмена и степень насыщенности основаниями почвенного поглощающего комплекса. Максимальное их количество традиционно приурочено к гумусовым горизонтам фоновых почв. При этом содержание обменного кальция значительно выше, чем магния, что связано с большей подвижностью этого элемента и меньшей его биофильностью по сравнению с первым (см. табл. 1).

Значения гидролитической кислотности (Н⁺) оказались выше в почве, развитой на супеси, в связи с её хорошей водопроницаемостью, в результате чего подвижные формы элементов в виде легкорастворимых солей легко мигрируют вниз по профилю (см. табл. 1).

Таблица 1

Физико-химические свойства почв окрестностей ИркаЗа и фоновых серых лесных почв

| Глубина горизонта, см | рН водной суспензии | %, гумуса | Обменные катионы | | | W, % | ρ _b г/см ³ |
|---|---------------------|-----------|----------------------------|------------------|----------------|------|----------------------------------|
| | | | ммоль(+)/ кг ⁻¹ | | | | |
| | | | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | H ⁺ | | |
| Разрез «ШУ НИ ТЭЦ». Урбиквазизем | | | | | | | |
| Ud 0–8 | 8,1 | 4,47 | 6 | 12 | 0,35 | 5,5 | 1,2 |
| B 8–25 | 8,1 | 0,66 | 5 | 4 | 0,35 | 7,2 | 1,6 |
| [Uh] 25–40 | 6,8 | 2,25 | 14 | 6 | 1,14 | 18,4 | 1,5 |
| Разрез «Столовая». Серая типичная | | | | | | | |
| AУ 3–5 | 6,5 | 5,32 | 9 | 21 | 2,54 | – | – |
| AЕЛ 5–25 | 6,4 | 3,54 | 12 | 13 | 2,54 | – | – |
| ВЕЛ 25–60 | 6,9 | 0,76 | 10 | 10 | 1,58 | – | – |
| Разрез 2. Серая остаточно-карбонатная на суглинистых отложениях | | | | | | | |
| AУ 3–7 | 6,8 | 7,24 | 39 | 13 | 1,75 | 60,0 | 0,4 |
| AЕЛ 7–16 | 6,0 | 5,69 | 24 | 7 | 1,31 | 17,1 | 0,9 |
| ВЕЛ 16–30 | 6,6 | 1,19 | 17 | 7 | 1,14 | 12,1 | 1,3 |
| Bt 30–78 | 6,7 | 0,52 | 18 | 7 | 0,70 | 13,4 | 1,4 |
| Bca 78–100 | 8,6 | 0,83 | 15 | 6 | 0,17 | 16,7 | 1,3 |
| Cca 100–130 | 8,6 | 0,75 | 14 | 7 | 0,17 | 17,0 | 1,4 |
| Разрез 3. Серая типичная на супесчаных отложениях | | | | | | | |
| AУ 3–10 | 5,8 | 8,67 | 19 | 1 | 6,30 | 15,9 | 1,1 |
| AЕЛ 10–20 | 5,8 | 3,74 | 18 | 3 | 3,06 | 10,8 | 1,1 |
| ВЕЛ 20–30 | 5,1 | 1,31 | 15 | 2 | 1,31 | 7,1 | 1,3 |
| Bt 30–60 | 5,7 | 0,76 | 13 | 1 | 1,49 | 6,2 | 1,5 |
| C 60–100 | 7,1 | 0,34 | 10 | 2 | 0,44 | 3,9 | 1,5 |

Антропогенно-преобразованные почвы отличаются низким содержанием обменных катионов. При этом содержание обменного магния может превышать содержание кальция, особенно в верхних горизонтах, что связано с техногенным привносом. Наиболее ярко это проявляется в урбиквазиземе, где верхняя урбанизированная толща обогащена магнием, однако погребенный гумусовый горизонт, соответствующий естественной почве, содержит больше обменного кальция, чем магния. Гидролитическая кислотность показала очень низкие значения, особенно в урбанизированных горизонтах, при этом в погребенном гумусовом горизонте естественной почвы её показатели несколько возрастают (см. табл. 1).

Интересны показатели влажности (W) и плотности (ρ_b) урбиквазизема и фоновых почв. В фоновых почвах максимум влаги приходится на дерновые горизонты. Почва на суглинистых отложениях оказалась более влажной по всему профилю по сравнению с супесчаной, что связано с различиями их водоудерживающей способности и водопроницаемости. Почва на супесчаных отложениях обладает меньшей водоудерживающей способностью, более водопроницаема. Урбиквазизем, наоборот, в верхней части характеризуется низкими значениями влаги, тогда как в погребенном гумусовом горизонте её количество значительно выше. Повидимому, это можно объяснить различиями в гранулометрическом составе исследуемых горизонтов. Так, верхняя урбанизированная толща имеет легкий гранулометрический состав, а погребенный гумусовый горизонт, который ранее был естественной поверхностью почвы, обладает легко- либо среднесуглинистым составом, что заметно повышает его влагоёмкость и снижает водопроницаемость (см. табл. 1).

Что касается плотности, то фоновая почва на суглинистых отложениях имеет меньшие её значения по сравнению с почвой на песчаных отложениях. Это объясняется тем, что преобладающим типом частиц гранулометрических фракций являются тонкие глинистые частицы, обладающие меньшей плотностью, причём верхняя задернованная часть более рыхлая, чем нижележащие горизонты, за счёт разрыхляющего действия гумуса и отсутствия давления сверху верхних горизонтов. В урбиквазиземе наблюдается обратная картина: верхние урбанизированные горизонты более плотные по сравнению с погребённым гумусовым горизонтом (см. табл. 1).

Исследованные характеристики позволяют заключить, что исследуемые антропогенно преобразованные почвы из района ИркАЗа и фоновые серые лесные почвы имеют существенные различия в морфологии, реакции среды, содержании гумуса, составе обменных катионов, а также влажности и плотности. Это свидетельствует о значительных различиях в режимах и процессах, идущих в данных почвах, определяющих их поглотительную способность и нисходящую миграцию элементов. Так, наличие погребенного гумусового горизонта в урбиквазиземе и карбонатного в фоновых почвах, резкая смена кислотно-основных свойств внутри их профиля может служить геохимическим барьером на пути миграции различных элементов и веществ.

Как правило, максимальное содержание загрязняющих веществ и элементов приурочено к верхнему горизонту [8]. Это связано со спецификой состояния загрязняющих веществ, которые поступают в почвы преимущественно (в среднем на 80 %) в твёрдой малорастворимой форме. Для их перехода в более подвижное состояние требуются специфические (отличные от тех, при которых они образовались) условия и время для взаимодействия с факторами среды.

Поверхность почвы служит границей разделения потока твёрдых аэрозолей, движущихся под действием сил гравитации, на две части: малорастворимую и растворимую. Первая большая часть, представленная твёрдым веществом, задерживается на поверхности и медленно продвигается по пустотам в глубину задернованного гумусового горизонта или откладывается на поверхности в местах с уплотнённой почвой. Вторая, меньшая по объёму часть, в виде солевых растворов разной концентрации быстрее проникает в нижние горизонты и далее за пределы почвенного профиля. Обогащение элементами здесь осуществляется в процессе сорбционно-десорбционного обмена между твёрдой и жидкой фазами почв, а также благодаря наличию различных геохимических барьеров с иными механизмами взаимодействия. В верхнем аккумулятивном слое почвы вещество находится преимущественно в карбонатной форме, а в более глубоких горизонтах – в форме сорбированных ионов [10; 13; 14].

Присутствие в почвах фтора, алюминия и натрия хорошо индицирует загрязнение выбросами алюминиевых производств, а щелочноземельных элементов и ванадия – воздействие предприятий теплоэнергетики (тепловые

станции, котельные, печные трубы) [13]. В частности, в исследованиях Н. Д. Давыдовой [13; 14; 20] показано, что специфическими элементами выбросов такого типа производства, как алюминиевое, загрязняющими почвенные растворы, являются фтор и натрий. Кальций и магний поступают от тепловой станции, находящейся рядом с площадкой завода, а железо – как реликт былой гидрогенной аккумуляции.

Согласно классификации А. И. Перельмана [23] фтор и натрий относятся к сильным водным мигрантам в широком диапазоне сочетаний условий миграции, подобно кальцию, магнию и стронцию. Величину подвижности химических элементов определяет, прежде всего, степень растворимости их природных солей. Данные, полученные Н. Д. Давыдовой [13; 14; 20], показывают, что от суммарного количества элементов, поступающих в геосистемы, растворимая часть фтора составляет 80 %, натрия – 55 %, алюминия – 4 %. Из этого следует, что большая часть фтора и половина натрия, поступающих от источника эмиссий, переходят в

раствор. Как наиболее подвижные, они являются основными загрязнителями почвенных растворов и водных объектов, тогда как алюминий загрязняет твёрдую субстанцию почв.

Информативны данные по составу и содержанию водорастворимого вещества исследуемых почв (табл. 2).

Общим для всех исследуемых почв является накопление ионов на геохимических барьерах: гумусово-аккумулятивном и карбонатном, особенно это характерно для ионов HCO_3^- и Cl^- . Содержание нитратов на порядки меньше в антропогенно-преобразованных почвах, по сравнению с фоновыми. Согласно результатам исследований И. А. Белозерцевой [5; 6; 7; 20], техногенные выбросы негативно отражаются на запасах элементов минерального питания – подвижных форм азота, фосфора, калия. Уменьшение содержания NO_3^- по мере приближения к источнику загрязнения вследствие подавления процесса нитрификации в почвах свидетельствует об ухудшении их состояния, в том числе и санитарного.

Таблица 2
Данные по составу и содержанию водорастворимого вещества почв окрестностей ИркаЗа и фоновых серых лесных почв

| Глубина горизонта, см | рН водной вытяжки | мг/кг | | | | | | | | |
|---|-------------------|------------------|---------------|-----------------|--------------------|----------------|---------------|--------------|------------------|------------------|
| | | HCO_3^- | Cl^- | NO_3^- | SO_4^{2-} | F ⁻ | Na^+ | K^+ | Ca^{2+} | Mg^{2+} |
| Разрез «ШУ НИ ТЭЦ». Урбиквазизем | | | | | | | | | | |
| Ud 0–8 | 7,8 | 285,3 | 27,0 | 2,3 | 16,7 | 68,9 | 64,0 | 24,5 | 78,5 | 11,5 |
| B 8–25 | 7,8 | 447,8 | 26,7 | 1,5 | 13,0 | 52,2 | 50,0 | 13,1 | 61,5 | 15,0 |
| [Uh] 25–40 | 7,0 | 133,7 | 41,4 | 5,0 | 23,0 | 59,9 | 54,0 | 7,6 | 70,0 | 21,5 |
| Разрез «Столовая». Серая типичная | | | | | | | | | | |
| AУ 3–5 | 6,5 | 167,1 | 8,2 | 3,5 | 9,7 | 22,8 | 17,9 | 21,4 | 38,5 | 10,5 |
| AEL 5–25 | 6,5 | 140,6 | 7,7 | 1,5 | 28,1 | 26,1 | 22,1 | 4,1 | 37,5 | 11,0 |
| BEL 25–60 | 6,7 | 414,5 | 35,3 | 0,2 | 14,8 | 8,25 | 37,0 | 11,5 | 47,0 | 11,5 |
| Разрез 2. Серая остаточно-карбонатная на суглинистых отложениях | | | | | | | | | | |
| AУ 3–7 | 6,4 | 298,6 | 37,8 | 14,7 | 11,8 | 2,1 | 17,0 | 12,0 | 39,0 | 12,0 |
| AEL 7–16 | 5,3 | 31,9 | 15,7 | 15,2 | 9,3 | 5,7 | 9,7 | 1,25 | 26,5 | 7,0 |
| BEL 16–30 | 6,2 | 219,9 | 50,1 | 2,8 | 23,3 | <0,3 | 17,1 | 3,85 | 57,5 | 16,5 |
| Bt 30–78 | 7,0 | 191,6 | 20,4 | 7,1 | 11,5 | 7,9 | 15,5 | 6,45 | 27,5 | 6,0 |
| Bca 78–100 | 8,0 | 593,5 | 15,6 | 1,2 | 7,2 | 10 | 11,0 | 3,45 | 115,5 | 12,0 |
| Cca 100–130 | 7,7 | 582,1 | 38,7 | 2,7 | 7,0 | 7,5 | 11,5 | 5,15 | 145,5 | 17,0 |
| Разрез 3. Серая типичная на супесчаных отложениях | | | | | | | | | | |
| AУ 3–10 | 5,9 | 288,2 | 7,4 | 194,1 | 22,5 | <0,3 | 5,5 | 16,0 | 107,0 | 24,0 |
| AEL 10–20 | 6,0 | 117,7 | 3,8 | 23,4 | 6,7 | 1,0 | 4,8 | 2,3 | 25,0 | 5,0 |
| BEL 20–30 | 6,4 | 112,8 | 2,9 | 3,6 | 3,2 | <0,3 | 4,2 | 2,1 | 16,5 | 4,0 |
| Bt 30–60 | 6,8 | 39,2 | 3,3 | 0,9 | 2,1 | <0,3 | 4,3 | 2,4 | 15,0 | 3,7 |
| C 60–100 | 7,3 | 97,4 | 2,0 | 0,0 | 3,6 | <0,3 | 3,4 | 1,8 | 11,0 | 2,4 |

Наблюдается резкое повышение содержания фтора, растущее по мере приближения к источнику загрязнения. Максимальные показатели его содержания фиксируются в урбиквиземе по всему профилю почвы, где предельно допустимые концентрации (ПДК) этого элемента превышены в 6–7 раз. Согласно гигиеническим нормативам ГН 2.1.7.2041-06 [24] величина ПДК водорастворимой формы фтора с учётом фона (кларка) по транслокационному (переход элемента в ткани растения) лимитирующему показателю вредности составляет 10,0 мг/кг. В антропогенно-преобразованной слаборазрушенной почве разреза «Столовая» ПДК по фтору превышены в 2–3 раза

Результаты исследований фоновых почв показали, что в серой лесной остаточнокarbonатной почве на суглинистых отложениях повышенное до 1 ПДК содержание фтора приурочено к гумусово-аккумулятивному и карбонатному горизонтам. Известно, что водорастворимый фтор может связываться в верхних гумусовых горизонтах почвы за счёт образования малорастворимых малоподвижных соединений, например, в виде солей кальция и алюминия, которые в большом количестве содержатся в почвах в виде обменных форм элементов. В кислых почвах содержатся обменный кальций и алюминий, а в нейтральных – кальций, которые, соединяясь с водорастворимым фтором, образуют труднорастворимые соединения.

Известно, что миграционные свойства фтора весьма разнообразны. По данным А. Кабата-Пендиас и Х. Пендиас [12; 16], наибольшая адсорбция фтора минеральными компонентами, прежде всего глинистыми минералами, отмечена при значениях рН в интервале от 6 до 7. Это объясняет повышенное (до 1 ПДК) содержание водорастворимого фтора в нижней части профиля (горизонты Вt, Вca, Сca) фоновой суглинистой почвы.

Наиболее распространённой формой фтора является фторapatит. Однако известно, что в почвах присутствуют также некоторые фториды (CaF_2 , AlF_3) и алюмосиликаты ($\text{Al}_2(\text{SiF}_6)_2$). Установлена и способность фтора образовывать комплексные ионы с алюминием (AlF^{2+} , AlF_2^+ , AlF_4^-). Поэтому подвижный в почвенном растворе фтор может контролироваться активностью ионов Al^{3+} в почвах. В природных условиях он малоподвижен и не накапливается в верхних горизонтах почв, особенно кислых. Высокая растворимость фтора в кислых почвах обусловлена присутствием легко-

растворимых флюоритов (NaF , KF , NH_4F), тогда как AlF^{2+} известен своей низкой растворимостью. Таким образом, увеличивающееся с глубиной содержание фтора определяется величиной рН среды. Установлено, что обогащённость почв глинистыми минералами обычно оказывает наибольшее влияние на распределение фтора в почвенном профиле. Пониженная миграция фтора в известковых почвах обусловлена образованием слаборастворимых фторидов CaF_2 и комплексов фтора с железом, алюминием, кремнием [12].

Особо следует подчеркнуть, что среди других соединения фтора обладают наибольшим мутагенным эффектом. В газовых выбросах производств алюминия фтор присутствует в виде газообразного фтористого водорода, четырёххлористого углерода и перфторэтана (при применении угольных электродов), а также в составе твёрдых аэрозолей, состоящих из фторидов алюминия, кальция, магния и криолина. Растворение фтористого водорода, частиц криолина, фторидов алюминия, кальция, магния в атмосферных осадках сопровождается образованием фторид-ионов. В поверхностные и подземные воды, а, следовательно, в почвы и растения, фтор поступает в основном в виде аниона, в меньшей степени – в виде SiF_6 и в составе комплексных соединений HF^0 , AlF^{2+} , CaF^+ , NaF^0 . Кроме газовых выбросов, в качестве источников техногенного фтора можно выделить золы ТЭЦ и ТЭС. Наибольшей устойчивостью обладают галогенопроизводные углеводороды, четырёхфтористый углерод и перфторэтан (C_2F_2). Время жизни в атмосфере двух последних соединений оценивается в 10 тыс. лет. Таким образом, есть все основания относить перфторуглеводороды к наиболее опасным органическим микропримесям атмосферы, влияющим не только на экологическую обстановку атмосферы региона, но и на климат в целом [12].

В целом согласно данным И. А. Белозерцевой [5; 6; 7; 20], доля закрепившихся в почве ионов F^- , а также Na^+ и Ca^{2+} , выпавших на поверхность за период работы ИркАЗа, составляет 70–90 % от суммарного количества элементов. Несмотря на высокую потенциальную растворимость, эти элементы сорбировались почвой благодаря высокой поглотительной способности.

Однако несмотря на то, что поступление в природную среду веществ в растворимой форме на порядок меньше, их роль в биогенной миграции значительно выше по сравнению с

плохо растворимыми соединениями. Многие хорошо растворимые вещества токсичны. Вследствие их доступности они опасны не только для растений, но в большей мере для человека и животных, питающихся этими растениями [14].

Авторы выражают благодарность сотруднику лаборатории гидрохимии и химии атмосферы Лимнологического института СО РАН Н. П. Сезько, И. Н. Доле, Е. А. Зимник за помощь в проведении анализов проб.

Литература

1. Агрохимические методы исследования почв : Руководство / под ред. А. В. Соколова – М. : Наука, 1975. – 656 с.
2. Аржанова В. С. Геохимия ландшафтов и техногенез / В. С. Аржанова, П. В. Елпатьевский. – М. : Наука, 1990. – 196 с.
3. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М. : Изд-во МГУ, 1970. – 487 с.
4. Барам Г. И. Микроколоночная высокоэффективная жидкостная хроматография с УФ-детектированием для определения анионов в объектах окружающей среды / Г. И. Барам, А. Л. Верещагин, Л. П. Голобокова // Аналит. химия. – 1999. – Т. 54, № 9. – С. 962–965.
5. Белозерцева И. А. Особенности элементного химического состава снегового покрова и почв в зоне влияния Иркутского алюминиевого завода / И. А. Белозерцева // Геохимия. – 2003. – № 6. – С. 681–685.
6. Белозерцева И. А. Взаимодействие выбросов алюминиевого производства на природную среду пригородной зоны / И. А. Белозерцева // Тренды ландшафтно-геохимических процессов в геосистемах юга Сибири. – Новосибирск : Наука, 2004. – С. 138–145.
7. Белозерцева И. А. Трансформация почв и расчёт технических нагрузок в зоне влияния алюминиевого завода / И. А. Белозерцева // Экологический консалтинг. – № 2 (18). – С. 14–20.
8. Волкова В. Г. Техногенез и трансформация ландшафтов / В. Г. Волкова, Н. Д. Давыдова. – Новосибирск : Наука, 1987. – 187 с.
9. Гапонюк Э. И. Влияние фтора на свойства почв в районах промышленных выбросов / Э. И. Гапонюк, Н. П. Кремленкова, Т. Н. Моршина – Л. : Гидрометеоздат, 1981. – 59 с.
10. Гапонюк Э. И. Изменение свойств дерново-подзолистых почв и серозёма под влиянием фтора / Э. И. Гапонюк, Н. П. Кремленкова, Т. Н. Моршина // Почвоведение. – 1982. – № 4. – С. 148–154.
11. Гапонюк Э. И. Влияние фторида натрия на трансформацию органоминеральных компонентов почв / Э. И. Гапонюк, Т. Н. Моршина, Г. М. Реут // Почвоведение. – 1986. – № 8. – С. 143–148.
12. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон) / В. И. Гребенщикова [и др.]. – Новосибирск : Акад. изд-во «Гео», 2008. – 234 с.
13. Давыдова Н. Д. Анализ состояния геосистем в зоне воздействия пылегазовых эмиссий / Н. Д. Давыдова // Тренды ландшафтно-геохимических процессов в геосистемах юга Сибири. – Новосибирск : Наука, 2004. – С. 91–104.
14. Давыдова Н. Д. Дифференциация техногенных веществ в степных геосистемах / Н. Д. Давыдова // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2006. – № 2 (2). – С. 93–102.
15. Иркутская область : экологические условия развития. Атлас – М. : Принт Лайн, 2004. – 116 с.
16. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас – М. : Мир, 1989. – 439 с.
17. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов [и др.] – Смоленск : Ойкумена, 2004. – 324 с.
18. Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова / В. А. Ковда. – М. : Наука, 1985. – 264 с.
19. Кремленкова Н. П. Изменение состава гумуса и ферментативной активности почв под влиянием фторида натрия / Н. П. Кремленкова, Э. И. Гапонюк // Почвоведение. – 1984. – № 11. – С. 73–77.
20. Мониторинг и прогнозирование вещественно-динамического состояния геосистем Сибирских регионов / Е. Г. Нечаева [и др.]. – Новосибирск : Наука, 2010. – 315 с.
21. Морошина Т. Н. Взаимодействие фторидов с почвами / Т. Н. Морошина, Э. Л. Гапонюк. – Метеоиздат, 1993. – С. 258–263.
22. Определение фторидов потенциометрическим методом. РД 52.24.366-95. – Ростов н/Д, 1995. – 5 с.
23. Перельман А. И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза / А. И. Перельман. – М. : Недра, 1972. – 288 с.
24. Постановление № 1 о введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041-06 от 23 января 2006 г.
25. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / под ред. Л. Д. Семенова. – Л. : Гидрометеоздат, 1977. – 534 с.
26. Строганова М. И. Городские почвы: генезис, классификация, функции / М. И. Строганова, А. Д. Мягкова, Т. В. Прокофьева // Почва, город, экология / под общ. ред. Г. В. Добровольского. – М. : Фонд «За экономическую грамотность», 1997. – С. 15–89.
27. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л. А. Воробьёвой. – М. : ГЕОС, 2006. – 400 с.
28. Устойчивость агроэкосистем к загрязнению фторидами / Л. В. Помазкина [и др.]. – Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2004. – 225 с.
29. Wetzel R. G. Limnological Analyses / R. G. Wetzel, G. E. Likens. – N. Y. : Springer, 1991. – 391 p.

Fluoride contamination of gray forest soils from Irkutsk aluminium smelter (IrkAZ)

A. A. Kozlova¹, O. G. Lopatovskaya¹, N. I. Granina¹, E. V. Chipanina², E. V. Kuchmenko³,
A. N. Bobrov¹

¹Irkutsk State University, Irkutsk

²Limnological Institute SB RAS, Irkutsk

³Melentyev Energy Systems Institute SB RAS, Irkutsk

Abstract. We consider the type of aerotechnogenic effects on gray forest soils under harsh continental climate, associated with the activity of an aluminum smelter. Specificity of anthropogenic influence in this case is due to aerial intake of fluorides included in the industrial waste dust and gas emissions.

Key words: Man-caused pollution of soil, dust and gas emissions of the enterprise, fluorides, anthropogenically transformed and background soil

Козлова Алла Афонасьевна
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. Сухэ-Батора, 5
кандидат биологических наук, доцент
тел. (факс) (3952) 24-18-55
E-mail: allak2008@mail.ru

Kozlova Alla Afonasyevna
Irkutsk State University
5, Sukhe-Bator St., Irkutsk, 664003
Ph. D. in Biology, ass. prof.
phone (fax): (3952) 24-18-55
E-mail: allak2008@mail.ru

Лопатовская Ольга Геннадьевна
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. Сухэ-Батора, 5
кандидат биологических наук, доцент
тел. (3952) 24-18-55, факс (3952) 24-05-59
E-mail: lopatovs@mail.ru

Lopatovskaya Olga Gennadyevna
Irkutsk State University
5, Sukhe-Batora St., Irkutsk, 664003
Ph. D. in Biology, ass. prof.
phone: (3952) 24-18-55, fax: (3952) 24-05-59
E-mail: lopatovs@mail.ru

Гранина Наталья Ивановна
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. Сухэ-Батора, 5
кандидат биологических наук, доцент
заведующий кафедрой
директор НИИ биологии при ИГУ
тел. (3952) 24-18-55
E-mail: granina_n@list.ru

Granina Natalya Ivanovna
Irkutsk State University
5, Sukhe-Batora St., Irkutsk, 664003
Ph. D. in Biology, ass. prof.
Head of department
Director of Institute for Biology at ISU
phone: (3952) 24-18-55
E-mail: granina_n@list.ru

Чипанина Елена Владимировна
Лимнологический институт СО РАН
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3
кандидат технических наук,
тел. (факс) (3952) 42-54-05
E-mail: yelena@lin.irk.ru

Chipanina Yelena Vladimirovna
Limnological Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033
Ph.D. in Engineering,
phone (fax): (3952) 42-54-05
E-mail: yelena@lin.irk.ru

Кучменко Екатерина Владимировна
Институт систем энергетики им.
Л. А. Мелентьева СО РАН
664033, Иркутск, ул. Лермонтова 130
кандидат географических наук,
тел. (факс) (3952) 42-67-96
E-mail: takate@govirk.ru

Kuchmenko Ekaterina Vladimirovna
Melentyev Energy Systems Institute SB RAS
130, Lermontov St., Irkutsk, 664033
Ph.D. in Geography,
phone (fax): (3952) 42-67-96
E-mail: takate@govirk.ru

Бобров Алексей Николаевич
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. Сухэ-Батора, 5
студент
тел. (факс) (3952) 24-18-55
E-mail: weikkenen@rambler.ru

Bobrov Alexei Nikolaevitch
Irkutsk State University
5, Sukhe-Bator St., Irkutsk, 664003
student
phone (fax): (3952) 24-18-55
E-mail: weikkenen@rambler.ru