



УДК 631.453; 504.05

Дифференциация фтора в профиле засоленных почв Южно-Минусинской котловины в зоне влияния алюминиевых производств

Т. И. Знаменская

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, Иркутск
E-mail: tznam@irigs.irk.ru

Аннотация. Рассмотрено воздействие пылегазовых эмиссий алюминиевого производства на почвенный покров степей Южно-Минусинской котловины. Изучено геохимическое поведение фторидов в профиле засоленных почв, расположенных на разном удалении от Саянского промузла и соответственно в различной степени испытывающих антропогенное влияние. Исследовалась внутрипочвенная дифференциация водорастворимой и валовой форм элемента, в значительной мере зависящая от характера почвообразующих процессов. Проведено изучение солевого состава почвенных растворов, так как степень и химизм засоления определяют закономерности миграции техногенного фтора. Почвы исследуемой территории обладают рядом общих черт при распределении поллютанта в почвенном профиле: наименее загрязнены лёгкие по гранулометрическому составу горизонты, сильнее – суглинистые и тяжелосуглинистые, а увеличение содержания легкорастворимых солей в почвенном профиле сопряжено с аккумуляцией поллютантов.

Ключевые слова: алюминиевая промышленность, фториды, степные геосистемы, засоление почв, миграция, внутрипочвенная дифференциация.

Введение

Серьезной экологической проблемой промышленности является рост объемов токсических отходов. Существенный вклад в загрязнение окружающей среды вносит цветная металлургия, в частности алюминиевая промышленность. В Республике Хакасия наибольшую опасность представляют пылегазовые эмиссии Саяногорского (САЗ) и Хакасского (ХАЗ) алюминиевых заводов, годовой совокупный объем производства которых превышает 800 тыс. т металла. На их долю приходится основная масса выбросов вредных веществ на территории Южно-Минусинской котловины.

Основными элементами-загрязнителями в выбросах этих производств являются фтористый водород, растворимые и плохо растворимые неорганические фториды, бенз(а)пирен, оксиды алюминия и сернистый ангидрид. Серьезную опасность при загрязнении компонентов геосистем представляет фтор. Он относится к первому классу опасности, отличается высокой технофильностью и деструкционной биологической активностью. Химическая активность и токсичность элемента требуют повышенного внимания к его балансу в ландшафте [5].

Для решения проблемы рационального использования земель в зоне загрязнения нельзя опираться только на данные по наличию таковых в атмосфере в связи с сильной динамичностью этого показателя. Недостаточно использовать и растения в связи с тем, что многие из них могут содержать незначительные концентрации фтора даже на сильнозагрязнённых почвах, другие же, наоборот, более восприимчивы и могут накапливать большое количество токсикантов.

Приемлемые результаты даёт анализ поведения поллютантов в системе атмосфера – почва – растение. При этом своеобразным маркером загрязнения экосистемы выступает почвенный покров.

Наблюдения за изменением вещественного состава почвенного и растительного покрова в зоне воздействия пылегазовых эмиссий Саяногорского и Хакасского алюминиевых заводов ведутся нами начиная с 2006 г. [5; 6; 17]. Предприятия определяют в основном атмосферный путь поступления в почвы загрязняющих веществ. Несмотря на использование современного оборудования и постоянное совершенствование систем очистки, при анализе снегового покрова обнаруживается расширение ареала загрязнения, а также повышение концентрации поллютантов в поверхностных горизонтах почв. Так, по данным В. Г. Сараева [14], после пятилетнего периода работы Саяногорского алюминиевого завода увеличение содержания фтора прослеживалось на расстоянии до 6 км и отмечалось преимущественно в верхней (до 5 см) части гумусового горизонта. Изучение лизиметрических вод на той же территории показало очень высокую миграционную способность техногенного фтора по профилю почвы в период снеготаяния, что свидетельствует о возможности его проникновения в более глубокие горизонты. В настоящий момент границы ареала загрязнения расширились до 15–20 км, а аккумуляция фторидов происходит не только в верхнем органическом горизонте, но и в более глубоких слоях почв [17].

Целью настоящего исследования стало изучение геохимического поведения фторидов в профиле засоленных почв Койбальской степи в Южно-Минусинской котловине, расположенных на разном удалении от Саянского промузла и соответственно в различной степени испытывающих влияние алюминиевых производств [7].

Материалы и методы

Почвенный покров территории представлен чернозёмами текстурно-карбонатными и каштановыми почвами в комплексе с солончаками, солонцами и солонцеватыми разностями. Общим признаком является малая мощность профиля на красноцветной осадочной толще верхнепалеозойского возраста. Почвообразующие породы широко представлены элювием и делювием коренных пород. Лёссы и лёссовидные суглинки залегают мощным покровом и являются господствующими породами правобережной части Абакано-Енисейского междуречья.

Чернозёмы и каштановые почвы занимают основную часть территории Койбальской степи. Различие их свойств (содержание гумуса, реакция среды (рН), содержание карбонатов, гранулометрический состав, поглотительная способность, биологическая активность) определяет неодинаковую устойчивость к химическому загрязнению.

Чернозёмы встречаются крупными массивами на повышенных всхолмленных участках, южных склонах возвышенностей, а также высоких террасах речных долин, составляя комплексы с солонцами, солонцеватыми и малоразвитыми почвами на красноцветных породах. Почвообразующая порода содержит легкорастворимые соли и имеет щелочную реакцию почвенного раствора [4]. Мощность гумусового горизонта АU от 12 до 14 см. Содержание гумуса составляет 2,5–6,0 %, а его запасы в метровом слое 170–210 т/га.

Каштановые почвы имеют локальное распространение и располагаются по равнинным элементам рельефа, которые часто соответствуют древним речным террасам. Среди них выделяются каштановые типичные и солонцеватые. Для каштановых почв характерна небольшая мощность гумусового горизонта АJ – от 8 до 16 см.

Характерным признаком почвообразования в условиях Хакасии следует считать развитие почв солончакового и солонцового типов. Солончаковые почвы тяготеют к приозёрным понижениям и надпойменным террасам с близким залеганием минерализованных грунтовых вод [16]. К засолению аллювиальных почв и прилегающих к ним склонов могут привести также оросительное земледелие и неправильная организация сброса воды в бессточные низины [10].

Солонцовые почвы развиваются на склонах любых экспозиций и на вершинах возвышенностей, что обусловлено характером почвообразующих пород. Элювиально-делювиальные продукты выветривания верхнедевонских и пермокарбонатовых отложений (особенно зеленатовые и красноцветные глинистые сланцы) содержат легкорастворимые соли. Поэтому отмечается некоторая связь химизма засоления почв с геологическим строением территории. Почвы содового засоления распространены главным образом на территориях, сложенных четвертичными осадками. В зоне их активного водообмена присутствуют преимущественно гидрокарбонатно-натриевые воды. Засоление сульфатами с высоким содержанием натрия и магния, вероятно, связано с разгрузкой подземных минерализованных вод [3]. Почвенный профиль сложный, в долине р. Енисей хорошо дренирован. В нём отмечаются слоистость и чередование почвенных горизонтов разной мощности и гранулометрического состава (от мелкого щебня и песка до лёгких и тяжёлых суглинков) [6].

Объект исследования – почвенный покров ландшафтно-геохимического профиля протяжённостью 11,5 км, который сечёт долину р. Енисей в северном направлении от промплощадок алюминиевых производств (рис. 1.).

Почвенные пробы отбирали в июле 2011 и 2012 гг. из основных генетических горизонтов. Для анализа отбирались средние пробы образцов, доводились до воздушно-сухого состояния и просеивались через сито с отверстиями 1 мм. Для изучения химических, физических и физико-химических свойств почв определён гранулометрический состав по Качинскому [1].

Для оценки степени и химизма засоления почв определяли концентрацию легкорастворимых солей в водных вытяжках. Определение содержания катионов и анионов выполнено традиционными методами: HCO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} – титриметрическим; SO_4^{2-} – фотоколориметрическим; Na^+ , K^+ – пламенно-фотометрическим [2]; концентрации фтора установлены с помощью иономера И-120.1 с фторид-селективным электродом ЭЛИС-131 F [15]. При использовании метода водных вытяжек степень засоления почв оценивали по массовой доле плотного остатка, высушенного при 105 °С, результаты выражали в процентах.

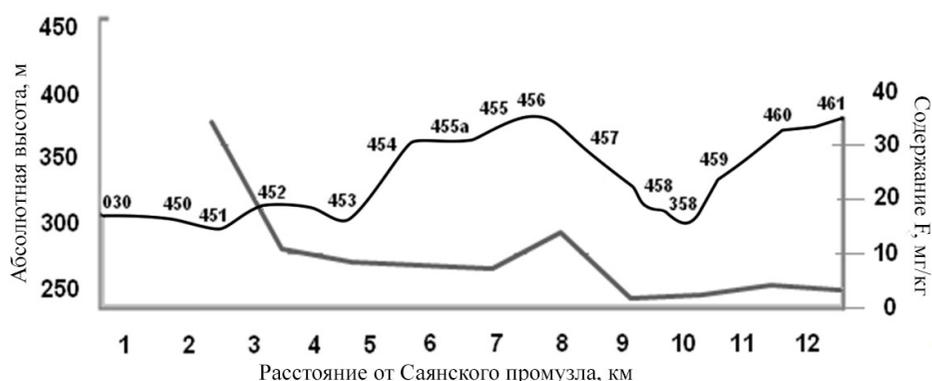


Рис. 1. Ландшафтно-геохимический профиль и содержание водорастворимого фтора (мг/кг) в слое почв 0–10 см на разном удалении от Саянского промузла

Для ориентировочной оценки суммы токсичных солей использовали эмпирическое уравнение В. С. Муратовой и В. Ю. Маргулис:

$$\Sigma_{\text{токс}} = (\text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+}) / 15,$$

где Na^+ и Mg^{2+} – количество миллимолей эквивалентов натрия и магния, которое было определено методом водной вытяжки, ммоль(экв)/100 г почвы [11].

Содержание токсичных ионов ориентировочно рассчитывали по уравнению:

$$\text{SO}_4^{2-}_{\text{токс}} = \text{SO}_4^{2-} - (\text{Ca}^{2+} - \text{Ш}_{\text{общ}}), \text{ если } \text{Ш}_{\text{общ}} < \text{Ca}^{2+},$$

где $\text{Ш}_{\text{общ}}$, SO_4^{2-} , Ca^{2+} – общее количество миллимолей эквивалентов ионов, которое было определено методом водной вытяжки, ммоль (экв)/100 г почвы [8].

Результаты и обсуждение

С целью выявления путей и закономерностей миграции техногенного фтора проведено изучение солевого состава почвенных растворов, часто приуроченных к засоленным горизонтам почв. Исследовали химический состав почв разной степени засоления элювиальных, трансэлювиальных и суперэлювиальных ландшафтов.

Почвы суперэлювиальных ландшафтов занимают древнюю долину р. Енисей в пределах центральной поймы. Разрез заложен на расстоянии до 5 км от алюминиевых предприятий. Растительность преимущественно лугово-степная и луговая. Гранулометрический состав по профилю изменяется от лёгких суглинков до супесей, которые подстилаются галечником. Наблюдаются карбонатные новообразования. В западинах отмечаются признаки гидроморфизма. Преобладают гумусово-гидрометаморфические засоленные почвы AU(s)–Qs–CQ(s) и чернозёмы дисперсно-карбонатные AU–BCA–Cca.

Почвы первой надпойменной террасы расположены в пределах центральной поймы Енисей, разрез заложен на расстоянии 6–8 км от Саяногорского и Хакасского алюминиевых заводов. Здесь растительность представлена разнотравно-ковыльной степью. Почвы характеризуются средне- и тя-

желосуглинистым составом, карбонатными новообразованиями в форме мицелия и включениями щебня и гравелитов. Представлены типичными каштановыми – АЖ–ВМК–САТ–Сса и солонцеватыми подтипами – АЖ–ВМКsn–САТ–Сса.

Разрез на почвах второй надпойменной террасы древней долины р. Енисей заложен в 11,5 км от Саянского промузла. Преобладает разнотравно-злаковая степная растительность. Почвенный профиль характеризуется суглинистым гранулометрическим составом, большей плотностью по сравнению с почвами понижений. Имеются новообразования водорастворимых солей в виде белых крапин. Распространены чернозёмы текстурно-карбонатные – АУ–САТ–Сса и солонцеватые – АУ–АUsn–САТ–Сса.

Изучение солевого состава водной вытяжки показали, что почвы засолены нейтральными солями при рН от 7,0 до 8,4.

Сумма солей изменяется от 0,1 до 1,7 %. Соотношение ионов в составе солей и их распространение в разных генетических горизонтах наиболее представительных почвенных профилей представлены в таблице.

Анализ водной вытяжки показал, что химический состав почв неоднороден. Общим для всех почв является присутствие хлоридов, гидрокарбонатов и сульфатов кальция и натрия. Химизм засоления исследуемых почв от сульфатного и хлоридно-сульфатного до содово-сульфатного в аккумулятивных условиях. Состав плотного остатка даёт представление об общем содержании в почве минеральных солей и характеризует уровень засоления. Степень засоления этих почв различна – от слабозасолённых до засоленных.

Гидроморфные почвы древней долины р. Енисей в небольшой степени засолены с поверхности нейтральными и слабощелочными солями, тип засоления сульфатный и хлоридно-сульфатный (см. табл.). Почвы обладают хорошими водно-физическими свойствами. В составе обменных оснований преобладают натрий и магний. Профиль не дифференцирован по гранулометрическому составу, наблюдается лишь некоторое облегчение его с глубиной.

Почвы элювиальных и трансэлювиальных ландшафтов представлены чернозёмами и каштановыми почвами с признаками солонцеватости и солонцами (почвы второй надпойменной террасы). Профиль чётко дифференцирован по гранулометрическому составу. Надсолонцовый горизонт обеднён илистой фракцией, особенно коллоидами, по сравнению с солонцовым. Солонцовые горизонты в связи с их водно-физическими свойствами являются механическими барьерами на пути миграции химических элементов, в том числе фтора. Легкорастворимые соли – сульфаты, хлориды – содержатся как в подсолонцовом, так и нижележащих горизонтах. Из малорастворимых солей встречаются гипс и карбонаты (см. табл.). Содержание обменного натрия в солонцеватых почвах до 15 % от ЕКО, в солонцах – больше 25 %.

Важным показателем засоления считается величина отношения Cl^-/SO_4^{2-} , который свидетельствует о направлении движения солей (закон Полюнова – Философова). Оценка основана на разной скорости перемещения анионов Cl^- и SO_4^{2-} по профилю почв и может быть использована в случае, если засоляющие почву грунтовые воды содержат хлориды и сульфаты [13]. Соли движутся в том направлении, где эта величина больше.

Таблица

Содержание водорастворимых веществ в профиле засоленных почв
Южно-Минусинской котловины, находящихся в зоне влияния алюминиевых производств

Глубина, см	%		Ммоль (экв) / 100 г почвы									HCO ₃ ⁻ / (Ca ²⁺ + Mg ²⁺)	Cl ⁻ / SO ₄ ²⁻ токс	
	Сумма солей	Сумма токсичных солей	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ²⁻		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺			
						общее	токсичное							
Разрез 453														
0–24	0,31	0,17	0,10	0,25	0,04	3,2	2,32	0,98	1,06	1,46	0,08	0,05	0,11	
24–35	0,20	0,07	0,13	0,25	0,03	0,80	0,68	0,25	0,23	0,75	0,04	0,26	0,37	
35–50	0,16	0,05	0,15	0,20	0,03	0,50	0,43	0,22	0,21	0,61	0,04	0,35	0,47	
50–83	0,20	0,04	0,20	0,25	0,03	0,50	0,35	0,35	0,20	0,43	0,04	0,36	0,71	
Разрез 455														
0–10	0,02	0,01	0,10	0,07	0,04	0,10	0	1,05	0,09	0,03	0,19	0,09	Cl ⁻ > SO ₄ ²⁻	
10–40	0,10	0,02	0,13	0,11	0,02	0,20	0	0,45	0,09	0,23	0,08	0,23	Cl ⁻ > SO ₄ ²⁻	
40–62	0,50	0,12	0,18	0,35	0,14	0,30	0	0,78	0,21	1,61	0,01	0,18	Cl ⁻ > SO ₄ ²⁻	
62–86	0,54	0,20	0,21	0,40	0,24	0,70	0,49	0,42	0,15	2,83	0,02	0,37	0,82	
Разрез 460														
0–12	0,20	0,02	0,03	0,13	0,01	0,55	0,2	0,39	0,23	0,04	0,01	0,04	0,68	
13–33	0,60	0,30	0,14	0,66	0,06	4,25	3,83	0,56	0,55	3,99	0,01	0,13	0,17	
33–43	1,73	0,67	0,04	1,65	0,04	16,35	8,35	8,04	4,18	5,83	0,01	0,01	0,20	
43–74	1,14	0,57	0,06	1,95	0,05	12,30	6,54	5,83	3,32	5,18	0,01	0,01	0,30	
74–79	0,51	0,22	0,11	1,61	0,11	2,45	1,58	0,97	0,63	2,73	0,01	0,07	1,02	

В почвах понижений соли мигрируют преимущественно вниз по профилю, так как в этом направлении увеличивается отношение $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ (рис. 2). Исследуемые аллювиальные почвы расположены в древней пойме р. Енисей и подстилаются галечниково-песчаными отложениями. С течением времени уровень грунтовых вод понизился и более не оказывает значительного влияния на степень засоления почв. Капиллярный подток из нижележащих горизонтов не оказывает существенного влияния на основной процесс соленакопления.

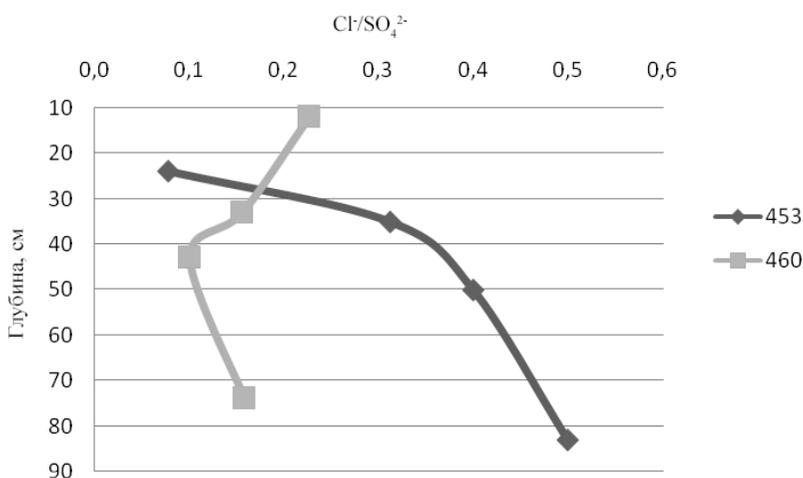


Рис. 2. Распределение отношения $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ (коэффициент Полынова – Философова) по исследованному профилю почв Южно-Минусинской котловины, находящейся в зоне влияния алюминиевых производств

Таким образом, засоление верхних горизонтов почв супераквальных ландшафтов обусловлено в первую очередь не минерализацией грунтовых вод, а миграцией солей с повышенных участков и аэрозольным поступлением натрия, который, как и фтор с выбросами алюминиевого производства, попадает в атмосферу [5]. Техногенный натрий способствует насыщению почвенно-поглощающего комплекса и вытеснению магния и кальция, что ведёт к усилению процесса засоления почв и нарушению их структуры [7].

В элювиальных почвах второй надпойменной террасы коэффициент Полынова – Философова, напротив, возрастает в верхних слоях, что свидетельствует о возможной миграции солей в сухой период из нижележащих горизонтов (см. рис. 2). Отсутствие среди водораздельных солонцовых почв солодей и осолоделых почв, высокое содержание гумуса в аккумулятивно-элювиальном горизонте солонцов указывают на то, что во многих случаях солонцовый процесс находится в стадии затухания и происходит усиление задернения солонцов. Сульфатный характер засоления почв и незначительное количество хлоридов позволяют предполагать выщелачивание и вынос легкорастворимых солей в более увлажнённые периоды.

Изучение миграции в ряду геохимически сопряжённых ландшафтов показало, что на исследуемой территории в верхнем (0–10 см) слое почв прослеживается закономерное снижение содержания поллютантов с удалением от Саянского промузла. Повышенные концентрации обнаруживаются на вершинах, наветренных склонах и понижениях, что связано с распределительными функциями рельефа (см. рис. 1). Это обусловлено тем, что при аэральном загрязнении поллютанты первоначально задерживаются поверхностным гумусовым горизонтом почвы. Затем происходит их внутривертикальная дифференциация, в значительной мере зависящая от характера почвообразующих процессов.

Уровень содержания элемента определяется процессами гидрогенной миграции его соединений в ландшафтах и внутри почвенного профиля. Установлено, что содержание элементов в почвенных растворах контролируется первичной минеральной матрицей, гранулометрическим составом и распределением илистой фракции в вертикальном профиле почв [6]. Вследствие этого содержание поллютантов в засоленных горизонтах почв на значительном расстоянии от источника выбросов может быть значительно выше, нежели в незасоленных хорошо дренируемых почвах, находящихся в непосредственной близости от него.

Так, почвы центральной поймы, подстилаемые песчано-галечниковыми отложениями, в верхнем слое содержат большее количество фтора, чем другие почвы ландшафтно-геохимического профиля (см. рис. 1). Это объясняется непосредственной близостью к алюминиевым предприятиям и соответственно более высокими нагрузками. При этом значительная часть фтора в верхнем дерновом слое представлена его водорастворимой формой, содержание достигает 3–4 ПДК. Далее по профилю содержание водорастворимого фтора постепенно падает, что в первую очередь связано с облегчением гранулометрического состава и высокой водопроницаемостью.

Характерной особенностью распределения валового и подвижного фтора в почвах первой и второй надпойменных террас является наличие на различной глубине зон его максимальной аккумуляции (рис. 3, А). Отмечено, что чем больше степень соленакопления в засоленных почвах, тем выше уровень содержания фтора в них [9]. Засоление легкорастворимыми солями приурочено к нижней части профиля. Миграция водорастворимого фтора с легкорастворимыми солями по профилю обусловлена его высокой химической активностью как галогена. Одновременно происходит и увеличение содержания его валовых форм, которое связано, прежде всего, с физико-химическими свойствами солонцового горизонта: пептизацией коллоидов и плохой водопроницаемостью.

В солонцовых почвах второй надпойменной террасы процессы распределения поллютанта протекают иначе. Повышенные содержания водорастворимого фтора сосредоточены над солонцеватым горизонтом, который выступает в качестве механического барьера (рис. 3, Б). Ему свойственна плохая водопроницаемость при намокании в результате пептизации коллоидов, тем самым сдерживается миграция поллютанта в нижележащие слои.

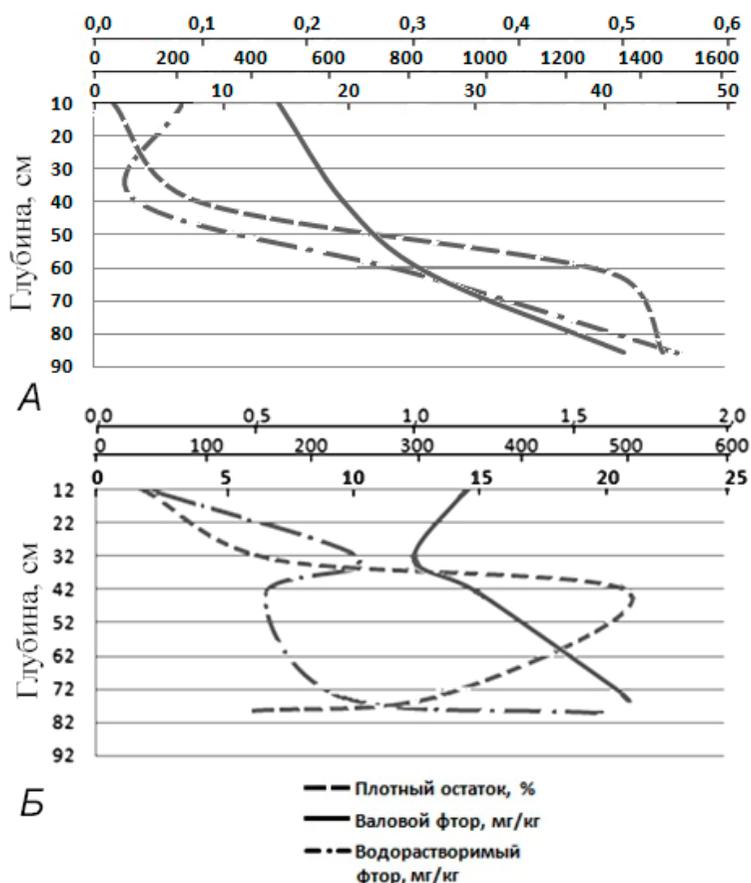


Рис. 3. Распределение валового и водорастворимого фтора и плотного остатка в профиле почв Южно-Минусинской котловины, находящихся в зоне влияния алюминиевых производств. А – типичная каштановая солонцеватая (разрез 455); Б – чернозём текстурно-карбонатный солонцеватый (разрез 460)

Противоположный характер накопления носит валовая форма элемента. Высокое его содержание в поверхностном слое, по всей вероятности, обусловлено связыванием водорастворимого фтора кальцием, полуторными окислами и адсорбцией почвенными коллоидами. Наличие солонцеватого горизонта также обуславливает повышенные содержания элемента за счёт высокой сорбционной способности диспергированных материалов, способствуя образованию его малоподвижной формы.

Увеличение общего содержания фтора отмечается также в засоленных горизонтах, находящихся ниже солонцового слоя и в более глубоких незасоленных. Сюда он проникает, как мы полагаем, по трещинам, которые образуются в результате сильного иссушения степных почв летом и глубокого промерзания (до 2,2 м) зимой [12]. Зачастую они проявляются в виде извилин, образующих причудливую сеть на поверхности почвенного покрова.

Заключение

Приведённые данные показывают, что под влиянием производственной деятельности Саяногорского и Хакасского алюминиевых заводов степень загрязнённости почв фтором в гумусово-аккумулятивном горизонте снижается с увеличением расстояния от промплощадок предприятий. Почвы исследуемой территории обладают рядом общих черт при распределении водорастворимой формы этого элемента в почвенном профиле: наименее загрязнены лёгкие по гранулометрическому составу горизонты, сильнее – суглинистые и тяжелосуглинистые, а увеличение содержания легкорастворимых солей в почвенном профиле сопряжено с аккумуляцией поллютантов.

Значительное влияние оказывают степень и химизм засоления. Солонцы и солонцовые горизонты благодаря специфическим физико-химическим свойствам способны к аккумуляции повышенного количества поллютанта даже на значительном расстоянии от источника загрязнения. В связи с этим представляется недостаточным осуществление мониторинга загрязнения только в верхнем (в том числе пахотном) слое почв.

Анализ распределения подвижной формы элементов по профилю почв позволяет определить компоненты, создающие условия перехода фтора в связанное состояние, с которыми последний взаимодействует прежде всего. Результаты исследований можно использовать с целью прогнозирования поведения поллютанта в почвенном профиле на территориях со сходными природными условиями и геохимической обстановкой. В случае изменения отдельных факторов среды возможна вторичная мобилизация токсичных веществ из загрязнённых компонентов ландшафтов.

Список литературы

1. Агрофизические исследования почв. – М. : Наука, 1975. – 328 с.
2. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М. : МГУ, 1970. – 487 с.
3. Елизарова Т. Н. Балансовая оценка педогадгеохимических процессов / Т. Н. Елизарова // Сиб. экол. журн. – 2001. – № 3. – С. 271–275.
4. Градобоев Н. Д. Почвы Хакасии и пути повышения плодородия / Н. Д. Градобоев // Тр. Южно-Енисейской комплексной экспедиции. – М. : Изд-во АН СССР, 1954. – Вып. 2. – С. 30–48.
5. Давыдова Н. Д. Техногенные потоки и дифференциация веществ в геосистемах / Н. Д. Давыдова // Географические исследования в Сибири. – Новосибирск : ГЕО, 2007. – Т. 2. – С. 261–315.
6. Давыдова Н. Д. Роль рельефа в распределении потоков вещества в степных геосистемах / Н. Д. Давыдова, Т. И. Знаменская // Рельеф и экзогенные процессы гор : материалы Всерос. науч. конф. к 100-летию Л. Н. Ивановского. – Иркутск : ИГ СО РАН, 2011. – Т. 2 – С. 179–181.
7. Дубровина И. В. Природа поглощения фтора удобрения и мелиорантов / И. В. Дубровина, Э. А. Корнблюм // Почвоведение. – 1984. – № 9. – С. 23–24.
8. Засолённые почвы России / отв. ред. Л. Л. Шишов, Е. И. Панкова. – М. : Академкнига, 2006. – 854 с.
9. Иванов Г. М. Фтор в почвах Забайкалья / Г. М. Иванов, В. К. Кашин // Почвоведение. – 2003. – № 2. – С. 158–163.

10. Кутькина Н. В. Изменение чернозёмов и каштановых почв под влиянием длительного орошения [в Хакасии] / Н. В. Кутькина // Актуальные проблемы земледелия и селекции в Сибири : материалы выездной сессии объедин. науч. советов по общ. земледелию, селекции и семеноводству (Абакан, 13–16 авг. 1998 г.). – Новосибирск, 2000. – С. 71–72.
11. Лопатовская О. Г. Мелиорация почв. Засолённые почвы / О. Г. Лопатовская, А. А. Сугаченко. – Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. – 101 с.
12. Максютова Е. В. Особенности радиационного режима Минусинской котловины / Е. В. Максютова // География и природ. ресурсы. – 2002. – № 3. – С. 76–83.
13. Полюнов Б. Б. Определение критической глубины залегания уровня засоляющей почву грунтовой воды / Б. Б. Полюнов // Избр. тр. – М. : Изд-во АН СССР, 1956. – С. 549–462.
14. Сараев В. Г. Содержание фтора в почвах Минусинской котловины в зоне воздействия алюминиевого завода / В. Г. Сараев // Почвоведение. –1993. – № 2. – С. 94–97.
15. Санитарные нормы допустимых концентраций токсичных веществ в почве. САНПиН 42-126-4433-87. Методы определения загрязняющих веществ в почве. – М., 1987. – С. 5–17.
16. Строкова Л. А. Полевая учебная практика по инженерной геологии в Хакасии / Л. А. Строкова. – Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2010. – 131 с.
17. Davydova N. D. Identification of chemical elements as pollutants and their primary distribution in steppes of the southern Minusinsk depression / N. D. Davydova, T. I. Znamenskaya, D. A. Lopatkin // Contemporary Problems of Ecology. – 2013. – Vol. 6, N 2. – P. 228–235.

Effect of Salinity on the Differentiation of Technogenic Fluorine in the Soil Profile

T. I. Znamenskaya

Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk

Abstract. The influence of dust–gas emissions of aluminum manufacturing on soil cover of steppes in Minusinsk depression has been examined. Studied the geochemical behavior of fluoride in the profile saline soils located at different distances from the Sayank industrial cluster and varying degrees of anthropogenic impact. Intrasoil differentiation of water-soluble fluorine, which strongly correlated with nature of soil-forming processes, was investigated. The study of the salt composition of soil solutions, since the degree of salinity and chemistry determine the migration patterns of man-made fluoride. Saline composition of soil solutions was studied. This study aimed to identify directions and regularities of migration of man-triggered fluorine, which increases in saline horizons.

Keywords: aluminum manufacturing, fluorides, steppe geosystems, soil salinization, migration, intrasoil differentiation.

*Знаменская Татьяна Игоревна
аспирант
Институт географии им. В. Б. Сочавы
СО РАН
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
тел.: (3952)42–69–20
e-mail: tznam@irigs.irk.ru*

*Znamenskaya Tatyana Igorevna
Postgraduate
Sochava Institute of Geography SB RAS
1 Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42–69–20
e-mail: tznam@irigs.irk.ru*