

Влияние загрязнения фторидами алюминиевого производства на состояние гумуса в разных по свойствам почвах Байкальского региона

С. Ю. ЗОРИНА, Л. В. ПОМАЗКИНА, А. С. ЛАВРЕНТЬЕВА, Т. В. ЗАСУХИНА

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
664033, Иркутск, а/я 1243
E-mail: suz@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Влияние загрязнения фторидами алюминиевого производства на состояние гумуса разных типов пахотных почв изучали в полевых опытах, которые включали вариант с моделированием высокого уровня загрязнения путем внесения NaF, преобладающего в аэропромвыбросах. Негативное действие фторидов на состояние гумуса, связанное с повышением подвижности гумусовых веществ, в серой лесной почве проявлялось сильнее, чем в дерново-луговой. Это зависело от физико-химических свойств почв, определяющих буферность по отношению к NaF, и содержания водорастворимых фторидов.

Ключевые слова: загрязнение пахотных почв фторидами алюминиевого производства, состояние гумуса, трансформация углерода и азота в составе гумусовых веществ.

Техногенное загрязнение является существенным фактором, влияющим на экологическую устойчивость почв, прежде всего зависящую от их физико-химических свойств, количества и качества органического вещества [1–5]. В Байкальском регионе существенным источником загрязнения являются алюминиевые комбинаты-гиганты (БрАЗ и ИркАЗ). Каждый из них ежегодно выбрасывает в атмосферу более 7 тыс. т фторидов [6], которые относятся к 1-му классу высокоопасных веществ [7]. Их негативное действие на почву проявляется в нарушении структуры, подщелачивании, изменениях в почвенном поглощающем комплексе, а также в усилении подвижности гумусовых веществ, способствующих минерализации углерода и азота [8–10]. Большая часть имеющих-

ся в литературе данных получена в лабораторных экспериментах моделирования высоких уровней загрязнения фторидами, чаще NaF. В полевых условиях, характеризующихся постоянными изменениями природных факторов, включая гидротермические, а также непрекращающимся техногенным загрязнением, подобные исследования малочисленны.

В задачу исследований входило показать состояние гумуса в техногенно загрязняемых фторидами серой лесной и дерново-луговой пахотных почвах лесостепи Байкальского региона, а с целью прогноза, моделируя высокий уровень загрязнения, выявить возможные его изменения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследовали серую лесную и дерново-луговую почвы, загрязненные аэротехногенными выбросами алюминиевого завода (ИркАЗ –

Зорина Светлана Юрьевна
Помазкина Любовь Владимировна
Лаврентьева Алла Сергеевна
Засухина Татьяна Валентиновна

СУАЛ), в составе которых преобладают преимущественно твердые фториды (NaF). Согласно данным многолетнего мониторинга [11], в зоне локального загрязнения содержание фторидов в пахотных почвах со временем повышается. В серой лесной почве (Д), находящейся в 0,5 км от источника загрязнения, количество водорастворимых фторидов достигает 57–63 мг/кг, что соответствует 6 ПДК (предельно допустимая концентрация 10 мг/кг [12]), а в дерново-луговой (Е), находящейся в 2 км, но по “розе ветров”, 89–100 мг/кг (10 ПДК). Локальное загрязнение фторидами является приоритетным, поскольку содержание других поллютантов в этих почвах не превышает ПДК [11].

Исследования проводили в почвенных образцах, отобранных в мелкоделяночных полевых опытах, которые проводились по ранее отработанной методике [10, 13]. Почвы Д и Е (пахотный слой) были вывезены из зоны загрязнения на экспериментальный участок СИФИБР СО РАН, где осенью после удаления гумусового горизонта в траншеи устанавливали каркасы (площадь 0,25 м²), в которых формировали пахотный слой. Подобный подход позволял избежать влияния непрекращающегося загрязнения, а также обеспечивал репрезентативность почвенных проб для оценки изменений количества и состояния гумуса в зависимости от уровня загрязнения. Весной следующего года (перед посевом) в каждой из почв путем внесения NaF (доза 1000 мг F/кг) на фоне минеральных удобрений моделировали высокий уровень загрязнения. Схема опытов: 1 – NPK (фон), 2 – NPK + NaF. Использовали химически чистые соли. Удобрения вносили из расчета 60 кг д. в./га. Повторность опытов 3–4-кратная. Яровую пшеницу сорта Тулунская-12 высевали в соответствии с полевой нормой (600 зерен на 1 м²). Почвенные образцы отбирали из пахотного слоя после уборки надземной (зеленой) массы пшеницы в начале августа.

Свойства почв анализировали общепринятыми методами [14]. Гранулометрический состав определяли методом Качинского, структурный – Саввинова, а емкость катионного обмена (ЕКО) – Бобко-Аскинази. Фракционно-групповой состав гумуса с одновременным определением углерода и азота анализирова-

ли методом Пономаревой-Плотниковой, причем в негидролизуемом остатке (гумин) содержание их анализировали, а не рассчитывали по разности. Углерод определяли методом Тюрина, азот – Къельдаля. Содержание фтора мерили спектрофотометрически [15]. Статистическую обработку данных проводили с использованием компьютерных программ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемые почвы существенно различаются по физическим и химическим свойствам (табл. 1). Серая лесная почва (Д) по гранулометрическому составу относится к среднему суглинку, а дерново-луговая (Е) – к легкому суглинку. Внесение NaF влияния на гранулометрический состав почв не оказывало. Плотность сложения почв различалась (соответственно 1,19 и 0,80 г/см³). В почве Д при внесении NaF показатель увеличивался (1,40 г/см³), а общая пористость снижалась (с 56 до 46 %). Одновременно происходило изменение структурного состава. Содержание глыбистой фракции (>10 мм) повышалось почти втрое, тогда как фракций < 2 мм – снижалось. Соответственно коэффициент структурности уменьшался вдвое. В то же время физические свойства дерново-луговой почвы при внесении NaF не изменялись.

По химическим свойствам различия между почвами не менее значительны. В почве Д содержание гумуса и общего азота соответствовало уровню “низкое”, тогда как в Е – “очень высокое” [16]. Изменения этих показателей при внесении NaF не наблюдалось. В обеих почвах происходило повышение pH. Резко увеличивалось содержание обменного натрия, однако если в почве Д оно достигало 14,9 % от емкости катионного обмена (ЕКО), то в почве Е было вдвое меньше. Согласно классификации Антипова–Каратаева, осолонцевание почв соответствовало уровню “солонцеватая” и “слабосолонцеватая” [17]. Показатель ЕКО в почве Д был вдвое ниже, чем в Е, что связано с меньшим содержанием как гумуса, так и обменного кальция и магния. При внесении NaF в почву Д содержание кальция несколько снижалось. В обеих почвах увеличение обменного натрия со-

Таблица 1
Физические и химические свойства почв (0–20 см)

Почва	Сумма частиц, %		Плотность слоения, г/см ³	Коэффици- ент струк- турности	Гумус	N _{общ}	pH _{вод}	Hr	Ca ²⁺ мг-экв/100 г почвы	Mg ²⁺	Na ⁺	ЕКО, мг- экв/100 г
	<0,01	>0,01										
Д	36,8	61,3	1,19	4,0	2,95	0,14	6,6	3,3	15,8	4,0	0,5	29,0
Д+NaF	38,0	60,9	1,40	1,8	2,86	0,14	7,4	2,3	13,2	3,8	5,0	33,5
НСР ₀₅			0,1	1,3	0,10	0,04	0,1	0,1	1,5	1,8	0,2	1,8
Е	29,2	63,2	0,80	2,4	11,45	0,58	8,0	Не опр.	24,5	11,3	0,7	62,7
Е+NaF	29,9	63,8	0,79	2,8	11,34	0,58	8,4	Не опр.	24,5	6,3	4,1	65,2
НСР ₀₅			0,2	1,2	0,12	0,05	0,1		1,3	2,0	0,5	2,1

проводилось некоторым повышением ЕКО. Заметная пептизация почвенных коллоидов отмечалась только в серой лесной почве.

В обеих почвах валовое содержание фторидов колебалось в пределах “критического уровня” (500–1000 мг/кг [18]) (табл. 2). При внесении NaF показатель повышался в обеих почвах, о чем свидетельствуют как аналитические, так и расчетные данные. Содержание водорастворимых фторидов в почве Д меньше, чем в Е (соответственно 56 и 93 мг/кг). При внесении NaF оно увеличивалось, причем в почве Д вдвое. В этой же почве существенно повышалась степень подвижности (СП) фторидов, в то время как в почве Е показатель не изменялся. Содержание водорастворимых фторидов могло повышаться за счет содержания в почве не только фтора, но и натрия, что в основном связано с подщелачиванием [8, 9].

Трансформацию фторидов в зависимости от свойств почв характеризует буферность по отношению к NaF (B_{NaF}) [19]. Высокий показатель ее в почве Е (84,5) в основном обусловлен большим содержанием гумуса, глубиной гумификации и емкостью катионного обмена. Особенно резкое снижение буферности (0,6) происходило при внесении NaF в почву Д, что зависело как от высокого содержания обменного натрия, так и степени подвижности фторидов. Сравнительно меньшее снижение показателя в почве Е (13,9) связано с содержанием обменного натрия.

Следовательно, при загрязнении фторидами негативные изменения физических и химических свойств в серой лесной почве проявляются более существенно, чем в дерново-луговой. Свойства почв обуславливают их буферность по отношению к фторидам и их содержание в водорастворимой форме. В каждой из почв это формирует факторы среды, от которых зависит функционирование почвенного микробного комплекса и полевых культур, влияющее на трансформацию органического вещества.

Несмотря на различия в общем содержании углерода и азота (табл. 3), тип гумуса в обеих почвах фульватно-гуматный. Однако степень гумификации в серой лесной почве соответствовала уровню “высокая”, тогда как в дерново-луговой – “очень высокая”. Внесение NaF на изменение его не влияло. В обе-

Содержание и степень подвижности фторидов в почве

Почва	Содержание фторидов			СП, %*	B _{NaF} **
	валовых, мг/кг	водорастворимых			
		мг/кг	ПДК		
Д	780	56	6	7,2	20,6
Д+NaF	1780	407	41	22,9	0,6
НСР _{0,5}	50	21			
Е	950	93	9	9,8	84,5
Е+NaF	1720	187	19	10,9	13,9
НСР _{0,5}	56	29			

* СП = $F_{\text{вод.}} / F_{\text{вал.}} \cdot 100$ %.

** B_{NaF} = $[C(C_{\text{ГК}} \cdot C_{\text{ФК}}) \text{ ЕКО}] / \text{Na} \times \text{СП}$.

их почвах в группе ГК содержание углерода примерно одинаковое, причем выше, чем в ФК, однако содержание азота в почве Д значительно выше в ФК, а в почве Е – в ГК. В группе гумина (ГМ) содержание углерода несколько выше, чем азота, причем в обеих почвах. При внесении NaF заметные изменения отмечались только в дерново-луговой почве, где в ГК и ГМ происходило некоторое снижение и углерода, и азота, а в группе ФК – повышение азота.

Отличия почв по фракционному составу гумуса оказались более значительными, чем по групповому. В почве Д содержание углерода и азота в подвижной фракции ГК-1, связанной с полуторными окислами, было вдвое больше, чем в почве Е (см. табл. 3 и рис. 1). В малоподвижной фракции ГК-2 их содержание преобладало (соответственно 64 и 54 % от суммы фракций), причем в гумусе обеих почв. В почве Д во фракции ГК-3, связанной с глинистыми минералами, содержание обоих элементов оказалось меньше, чем в Е. В каждой из почв при внесении NaF содержание их во всех фракциях ГК не изменялось.

В группе ФК высоким содержанием как углерода, так и азота в почве Д отличалась фракция декальцината (соответственно 35 и 42 % от суммы фракций) (см. рис. 1). В подвижной фракции ФК-1 их оказалось значительно меньше (4 и 2 %), тогда как во фракции ФК-2 было одинаковым и примерно таким же, как в декальцините. Внесение NaF существенно влияло на распределение уг-

лерода и азота по фракциям ФК. Содержание их в декальцините снижалось (соответственно 26 и 22 % против 35 и 42 % в фоновом варианте). Изменения в других фракциях еще более существенные. Во фракциях ФК-1 и ФК-2 азота оказалось намного больше, чем углерода, а во фракции ФК-3, напротив, существенно увеличилось содержание углерода (46 %).

Высокое загрязнение фторидами почвы Д сопровождалось наиболее существенными изменениями только во фракциях ФК, причем трансформация азота была более интенсивной, особенно в подвижных фракциях. Снижение азота отмечалось в декальцините, а увеличение – во фракции ФК-1. В то же время в малоподвижных фракциях ФК-2 и ФК-3 изменения менее выражены. Одновременно происходило снижение углерода во фракции ФК-2 (23 против 36 % в фоновом варианте) и увеличение – в ФК-3 (46 против 25 %). В целом, если в подвижных фракциях ФК выше трансформация азота, то в малоподвижных фракциях – углерода.

В дерново-луговой почве действие сильного загрязнения фторидами, как и в серой лесной, больше проявлялось в группе ФК, чем в ГК. Однако существенной трансформации и углерода, и азота при внесении NaF в отдельных фракциях ФК не происходило, при этом наибольшее содержание их отмечалось в малоподвижных фракциях. Так, в ФК-3 содержание углерода достигало 39–40 %, а азота – 40–44 %. Сравнительный анализ группового и фракционного состава гу-

Групповой и фракционный состав гумуса, % от общего

Почва	Общий, %	ГК			Сумма	1а	ФК			Сумма	ГМ
		1	2	3			1	2	3		
Д	1,71	5,3	24,6	8,5	38,4	9,6	1,0	10,0	6,8	27,4	34,2
Д + NaF	1,66	7,1	23,8	7,0	37,9	7,7	1,8	6,8	13,1	29,4	33,8
HCP ₀₅	0,10	1,3	0,9	1,1	2,0	0,6	0,7	1,0	0,6	2,6	1,6
Е	6,64	2,4	26,5	12,7	41,6	3,8	2,1	11,9	11,8	29,6	34,6
Е + NaF	6,58	2,7	25,0	13,5	41,2	3,8	2,6	11,8	11,9	30,1	29,6
HCP ₀₅	0,78	0,5	1,9	0,5	2,1	1,1	0,9	1,5	0,8	2,3	1,5
<i>Углерод</i>											
Д	0,14	6,8	16,4	7,3	30,5	17,0	1,0	14,7	7,5	40,2	29,3
Д + NaF	0,14	6,3	16,5	9,4	32,2	8,4	9,2	13,0	6,8	37,4	29,3
HCP ₀₅	0,01	0,6	0,9	1,1	2,3	0,7	0,7	0,7	0,7	2,8	1,8
Е	0,58	3,1	19,4	12,5	35,0	4,1	7,6	8,2	13,1	33,0	27,8
Е + NaF	0,58	3,9	20,0	12,0	35,9	5,9	3,2	13,3	17,6	40,0	25,3
HCP ₀₅	0,03	0,9	1,6	0,7	2,1	1,2	1,6	1,4	0,8	1,5	3,5
<i>Азот</i>											

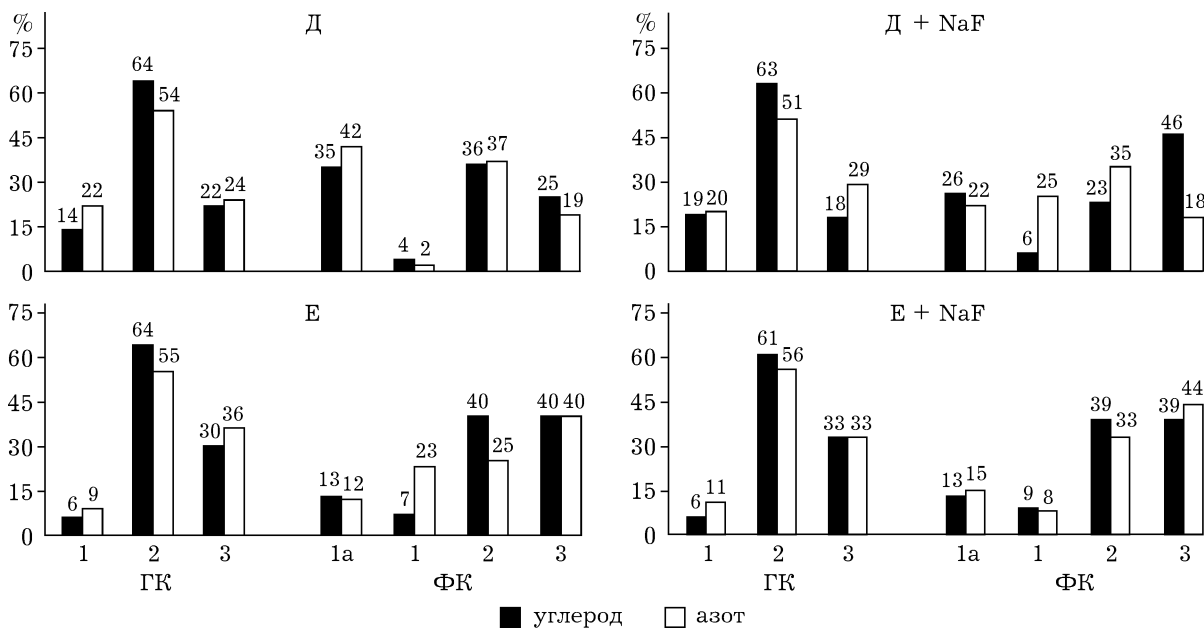


Рис. 1. Содержание углерода и азота во фракциях гумуса, % от суммы фракций ГК и ФК.

муса показывает, что в условиях сильного загрязнения фторидами подвижность гумусовых веществ повышается только в серой лесной почве.

Показатель относительной подвижности гумусовых веществ (Пг), который рассчитывается как отношение между подвижными и малоподвижными фракциями [20], также свидетельствует, что в почве Д подвижность и углерода, и азота в составе гумусовых веществ значительно выше, чем в почве Е (рис. 2). В обеих почвах при внесении NaF показатель изменялся незначительно, а подвижность азота выше.

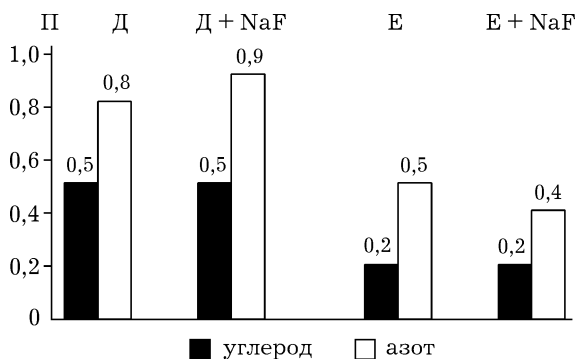


Рис. 2. Показатель относительной подвижности гумусовых веществ (Пг = $\frac{ГК-1+ФК-1+ФК-1a}{ГК-2+ФК-2}$)

Таким образом, изменения свойств почв, связанные с повышением уровня загрязнения фторидами, проявляются в повышении плотности и снижении пористости, накоплении фтора и натрия, способствующего подщелачиванию и осолонцеванию. Негативное воздействие загрязнения в серой лесной почве выше, чем в дерново-луговой, что зависит от физико-химических свойств, определяющих буферность по отношению к фторидам и содержание водорастворимых фторидов. Изменения в качественном составе гумуса, наиболее интенсивно происходящие в серой лесной почве, в большей степени связаны с трансформацией всех фракций фульвокислот. Согласно показателю Пг, в условиях высокого уровня загрязнения почв в составе гумусовых веществ больше усиливается подвижность азота, чем углерода. Сравнительно высокий ресурс и содержание малоподвижных фракций (структура) в составе гумуса дерново-луговой почвы влияют на формирование устойчивости системы гумусовых веществ, которая обеспечивает стабильное функционирование (состояние), причем независимо от уровня загрязнения фторидами.

Исследования выполнены при финансовой поддержке грантов РФФИ № 01-04-97204 и 03-04-49450а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добровольский Г. В., Никитин Е. Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука, 1990. 270 с.
2. Мотузова Г. В. Устойчивость почв к химическому воздействию. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. 57 с.
3. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты и общая теория гумификации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 332 с.
4. Кленов Б. М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал "Гео", 2000. 176 с.
5. Чуков С. Н. Структурно-функциональные параметры органического вещества в условиях антропогенного воздействия. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2001. 216 с.
6. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 1997 г. Иркутск, 1999. 299 с.
7. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: Изд-во стандартов, 1984.
8. Морщина Т. Н. Поглощение фтора почвами // Почвоведение. 1980. № 8. С. 69-73.
9. Кремленкова Н. П., Гапонюк Э. И. Изменение состава гумуса и ферментативной активности почв под влиянием фторида натрия // Почвоведение. 1984. № 11. С. 73-77.
10. Помазкина Л. В., Котова Л. Г., Лубнина Е. В., Зорина С. Ю., Лаврентьева А. С. Устойчивость агроэкосистем к техногенному загрязнению фторидами. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2004. 255 с.
11. Помазкина Л. В., Лубнина Е. В. Мониторинг загрязнения пахотных почв и полевых культур в зоне выбросов Иркутского алюминиевого завода // Агрохимия. 2002. № 2. С. 59-65.
12. Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве САН ПиН 42-128-4433-87. М.: МЗ СССР, 1987. С. 5-53.
13. Помазкина Л. В., Котова Л. Г., Лубнина Е. В. Биогеохимический мониторинг и оценка режимов функционирования агроэкосистем на техногенно загрязняемых почвах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1999. 208 с.
14. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
15. Дмитриев М. Т., Казнина Н. И., Пинигина И. А. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде: Справочное издание. М.: Химия, 1989. 368 с.
16. Гришина Л. А., Орлов Д. С. Система показателей гумусного состояния почв // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 42-47.
17. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 488 с.
18. Важенин И. Г., Сиволобова Г. С., Сорокин С. Е., Краснова Н. М. Фтор в почве и растениях в окрестностях алюминиевого завода // Химия в сельском хозяйстве. 1987. № 2. С. 47-48.
19. Помазкина Л. В., Лаврентьева А. С., Арефьева И. А., Соколова Н. А. Цикл азота в агроэкосистеме при загрязнении фторидами серой лесной почвы Прибайкалья // Агрохимия. 2004. № 4. С. 33-39.
20. Бирюкова О. Н., Орлов Д. С., Рейнтам Л. Ю. Влияние сельскохозяйственного использования на гумусное состояние и некоторые свойства бурых псевдоподзолистых почв // Агрохимия. 1986. № 2. С. 75-76.

Effect of Pollution with Fluorides from Aluminum Production on the State of Humus in Different Types of Soil in the Baikal Region

S. Yu. ZORINA, L. V. POMAZKINA, A. S. LAVRENTYEVA, T. V. ZASUKHINA

*Siberian Institute of Physiology and Biochemistry of Plants SB RAS
664033, Irkutsk, p.o.box 1243
E-mail: suz@yandex.ru*

Effect of pollution with fluorides from aluminum production on the state of humus in different types of arable soil was studied in field experiments. They included the version modeling the high level of pollution by introducing NaF, the component that prevails in aerial industrial emissions. The negative effect of fluorides on the state of humus, connected with an increase in the mobility of humus substances, was exhibited in the gray forest soil stronger than in the sod meadow soil. This was dependent on the physicochemical properties of soil determining the buffer characteristics with respect to NaF, and the concentration of water-soluble fluorides.

Key words: pollution of arable soil with fluorides from aluminum production, humus state, transformation of carbon and nitrogen in humus substances.