



## ТЕХНОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ АЛЮМИНИЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ ХАКАСИЯ

**Ключевые слова:** окружающая среда, техногенное влияние, детоксикация, транслокация фтора, почва-растение, ПДК, карбонатные почвы, флюорит.

В государственном докладе правительства Республики Хакасия «О состоянии окружающей среды Республики Хакасия в 2011 году» [1] суммарный объём от стационарных источников предприятий металлургического производства, доля в выбросах ОАО «РУСАЛ Саяногорский алюминиевый завод» (САЗ) в отрасли составляли в 2010 г. 97,04%, 2011 г. – 97,28%. По республике доля завода составила 36,12 и 37,83% соответственно по годам. В погоне за экономическими показателями следуют и экологические проблемы. Как отмечает Ю.П. Танделов [2], на 1 т произведённого алюминия в атмосферу выбрасываются до 7 кг фтора в форме HF, NaF, пыли и т.д. Высокая токсичность и химическая активность фтора делают актуальным изучение процессов его трансформации в агрофитоценозах. Для оценки техногенного влияния необходимо знать, до какой степени действует природная детоксикация и какова транслокация фтора в системе почва-растение.

**Целью исследования** являлось изучение транслокации фтора в почве и яровой пшенице «Омская-32». Для достижения поставленной цели нами (совместно с ФГБУ ГСАС «Хакасская») были заложены полевые опыты на землях ЗАО «Усть-Абаканское» Усть-Абаканского района РХ. Участок удалён от САЗа на 70 км, что исключает влияние алюминиевого завода. Ресурсы тепла на территории в годы проведения опытов были достаточно высокие для Хакасии. По данным Хакасской метеостанции суммы температур превышающие +5°C, равны 2396°; +10°C – 2000° и +15°C – 1323°. Сумма осадков составила 280-300 мм, что является характерным показателем для степной зоны Хакасии и не превышает средние многолетние.

### Методика и схема опыта

Для объективности необходимо знать фоновые показатели территории. Данные сравнения фактических показателей в конкретном регионе служат индикатором

экологического благополучия. Фоновый показатель взят нами за контроль, он составил в республике 1,9 мг/кг почвы.

Для валового фтора предельно доступная концентрация (ПДК) не определена. В соответствии с методическими указаниями по количеству водорастворимого фтора почвы делятся на пять уровней: 1 **допустимый** – менее 10 мг/кг (менее 1 ПДК); 2-й низкий – от 10 до 15 мг/кг (1,0-1,5 ПДК); 3-й средний – от 15 до 25 мг/кг (1,5-2,5 ПДК); 4-й высокий – от 25 до 50 мг/кг (2,5-5,0 ПДК); 5-й очень высокий – более 50 мг/кг (более 5 ПДК) [3, 4].

Опытный участок представлен каштановой карбонатной среднесуглинистой почвой, среднеобеспеченной подвижным фосфором и обменным калием.

Закладка полевого опыта проведена по схеме:

1. Контроль (без внесения фтора).
2. 10 ПДК фтора в почву.
3. 50 ПДК фтора в почву.
4. 100 ПДК фтора в почву.
5. 10 МДУ фтора на растение (яр. пшеница).
6. 50 МДУ фтора на растение (яр. пшеница).
7. 100 МДУ фтора на растение (яр. пшеница).

Размер делянок 1,0x1,0 м, повторность четырехкратная. Расположение вариантов и повторностей последовательное. Площадь одной повторности – 7 м<sup>2</sup>, общая площадь опыта – 56 м<sup>2</sup>. При расчете доз фтора использована соль NaF, которая вносилась в сухом виде в вариантах № 2, 3, 4 и № 5, 6 и 7 в виде раствора на растение опрыскиванием четыре раза в течение вегетации. Количество соли вносилось из расчета на чистый фтор. Анализы проводились на государственной станции агрохимической службы «Хакасская». Химические анализы проб почв выполнены по методикам и ГОСТам применительно к карбонатным почвам по общепринятым методикам, а определение водорастворимого фтора в почве методом потенциометрии (ионометрии) с твердым электродом на фтор и EIT-221 [3-6]. Обработка данных проведена по методике Б.А. Доспехова [7]. Почвенные пробы отбирались в августе месяце.

**Результаты исследований**

В результате исследований транслокация фтора в почве в степной зоне Хакасии было выяснено, что при внесении фтора в почву содержание его водорастворимой формы значительно увеличилось в зависимости от внесенной дозы по сравнению с контролем (табл. 1).

Анализ таблицы 1 показывает, что содержание водорастворимого фтора в год внесения превышает ПДК, кроме первого варианта. Однако на второй год практически по всем вариантам (кроме 1998 и 2000 гг. 100 ПДК) содержание водорастворимого фтора в почве уменьшилось и не превысило ПДК. На наш взгляд, причина миграции фтора в следующем: при анализе химического состава почвы было отмечено высокое содержание карбонатов (вскипание с 10 см). Фтор относится к галогенам, обладает высокой химической активностью, что привело к образованию труднорастворимого флюорита по следующей химической реакции:



Необходимо отметить, что опыты проводились на орошаемых почвах с двумя поливами нормой 350 и 400 мм. В богарных условиях на этих типах почв большое значение будут иметь атмосферные осадки.

В ходе наблюдений обнаружили, что при высоком уровне загрязнения (100 ПДК фтора) на поверхности почвы появилась

темная пленка. Это явление отмечает в своих экспериментах Г.В. Цаплин, делая вывод, что высокий уровень загрязнения вызывает деструкцию гумусовых веществ, при этом на поверхности почвы образуется органическая водорастворимая пленка (8).

Сравнивая результаты опытов по годам, следует констатировать, что при внесении фтора в почву, превышающим 100 мг/кг (в пересчете на чистый фтор), содержание его в почве становится недопустимым, т.е. превышает уровень ПДК (10 мг/кг) (табл. 2).

Внесение фтористого натрия в почву не оказывает заметного влияния на содержание общего фтора в растениях. Даже повышенные дозы токсиканта (1000 мг/кг) не отражаются на химическом составе зерна и соломы. Разница в содержании общего фтора в растениях между контролем и вариантами с внесением фтора в почву не существенна. Данное обстоятельство может найти практическое применение. На почвах, подверженных значительному загрязнению соединениями фтора, можно выращивать пшеницу, не опасаясь за наличие в ней опасного содержания фтора, превышающего предельно допустимую концентрацию (2,5 мг/кг в зерне и 20 мг/кг в соломе).

Технологические показатели зерна яровой пшеницы не ухудшились от искусственно созданной техногенной нагрузки (табл. 3).

Таблица 1

Содержание водорастворимого фтора в почве, мг/кг

Количество NaF, внесённого в почву	Годы								Среднее за 1998-2002 гг.			
	1998		1999		2000		2001			2002		
	1	2	1	2	1	2	1	2		1	2	
Контроль	2,12		2,23		2,08		2,23		2,22		2,18	
200 кг/га (10 ПДК)	9,20	6,90	5,41	3,89	8,30	5,93	5,94	4,11	4,69	3,35	6,65	4,84
1000 кг/га (50 ПДК)	20,97	8,49	13,27	5,77	20,57	7,91	12,97	6,52	14,73	5,73	16,39	6,88
2000 кг/га (100 ПДК)	29,86	11,54	17,63	9,85	26,55	10,23	16,03	8,02	16,86	7,03	21,36	9,36

Примечание. 1. Содержание фтора в почве в год внесения. 2. Содержание фтора на следующий (второй) год (последствие).

Таблица 2

Влияние количества внесенного фтористого натрия на содержание его в почве и растениях пшеницы

Варианты опыта	Содержание водорастворим. фтора в почве, мг/кг	Содержание валового фтора в растениях пшеницы, мг/кг сухого вещества	
		зерно	солома
Естественный фон			
Контроль	1,92	1,45	1,69
F 100 мг/кг почвы	9,28	1,49	1,73
F 500 мг/кг почвы	23,6	1,53	1,70
F 1000 мг/кг почвы	34,67	1,52	1,90
HCP <sub>0,95</sub>	2,27	0,21	0,12
F 25 мг/кг растений	2,12	2,72	8,92
F 125 мг/кг растений	2,25	3,17	9,56
F 250 мг/кг растений	2,29	3,39	10,10
HCP <sub>0,95</sub>	0,43	0,31	0,60

Технологические показатели зерна яровой пшеницы

Вариант	Масса 1000 зерен, г	Стекловидность, %	Белок, %	Клейковина, %	Качество клейковины, у.ед.
Контроль	33,5	24	14,3	28	85
F 100 мг/кг почвы	33,3	25	14,3	28	90
F 1000 мг/кг почвы	32,6	23	14,7	27	85
F 25 мг/кг растений	35,0	24	15,0	27	85
F 250 мг/кг растений	34,0	25	14,6	28	85

Воздействие повышенных доз фтора непосредственно на растение приводит к недопустимому загрязнению продукции фтором (табл. 2). Это в свою очередь делает зерно пшеницы непригодным для употребления в пищу (ПДК 2,5 мг/кг). Уровень загрязнения зерна пшеницы при воздействии на растения фтористых соединений в количестве 250 мг/кг (в пересчете на чистый фтор) еще дает возможность использовать это зерно на корм животным (ПДК 10 мг/кг) в соответствии с требованиями ВМДУ № 123-4/281-7, утвержденными 07.08.87 г. (уровень фтора в грубых и сочных кормах не должен превышать 20 мг/кг при натуральной влажности).

**Выводы**

Каштановая карбонатная среднесуглинистая почва обладает природным защитным комплексом от фторидного загрязнения с образованием флюорита.

Превышение уровня ПДК в почве наступает при внесении более 100 мг/кг фтористых соединений (в пересчете на чистый фтор).

Изучение химического состава растений показало, что принятые в опыте дозы фтора, вносимые в почву, не создавали угрозы загрязнения фтором яровой пшенице выше максимально допустимого уровня.

В растениях, получающих фтор посредством опрыскивания, происходит накопление его валовых форм, причем накопление фтора вегетативными органами растений происходит интенсивнее, чем генеративными.

Анализ растений по содержанию валового фтора может служить надежным диагностическим материалом при изучении воздействия выбросов фтористых соединений промышленных предприятий для окультуривания площади распространения и получения количественных характеристик фторидного загрязнения. Особенно это ценно в степных районах Хакасско-минусинской котловины, где нет устойчивого снежного покрова, наиболее часто используемого как индикатора загрязнения.

Необходимо вести систематический мониторинг за накоплением водорастворимого фтора, особенно на полях, прилегающих к промышленным предприятиям. В 2013 г. в России вводится в эксплуатацию

второй по величине завод «Русал хакасский алюминиевый завод» и техногенное воздействие на экологическую обстановку усилится.

**Библиографический список**

1. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Хакасия в 2011 году / А.А. Андреева; Правительство РХ. – Абакан: Журналист, 2012. – 126 с.
2. Танделов Ю.П. Фтор в системе почва-растение / под ред. акад. В.Г. Минеева; Рос. акад. с.-х. наук. – М., 2004. – 106 с.
3. Методические указания по определению содержания подвижного фтора в почвах ионометрическим методом: [утв. Министерством с/х РФ 26.01.1993 г.]. – М.: ЦИНАО, 1993. – 8 с.
4. ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа: [межгосударственный стандарт, дата введения 1986-01-01, переиздание: август 2008 г.] // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200005920> (дата обращения: 28.12.2012).
5. Санитарные нормы. СанПиН 42-128-4433-87. Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве: [утв. заместителем Главного государственного санитарного врача СССР от 30 октября 1987 г. N 4433-87] // НДП Альянсмедиа. – URL: [http://www.fehbez.ru/Docum/DocumShow\\_DocumID\\_530.html](http://www.fehbez.ru/Docum/DocumShow_DocumID_530.html) (дата обращения: 28.12.2012).
6. Методические указания по ионометрическому определению содержания фтора в растительной продукции, кормах и комбикормах [утв. зам. министра с/х и продовольствия РФ 14.04.1995 г.]. – М.: ЦИНАО, 1995.
7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
8. Цаплин Г.В. Эффективность извести и удобрений как средств рекультивации при фторидном загрязнении дерново-подзолистых почв // Агрохимия. – 1994. – № 3. – С. 81-84.