

УДК 502.7:631.46

## Химический след эмиссий алюминиевого производства (почвенно-экологический аспект)

Е. В. НАПРАСНИКОВА

Институт географии им. В. Б. Сочавы Сибирского отделения РАН,  
ул. Улан-Баторская, 1, Иркутск 664033 (Россия)

E-mail: [napev@irigs.irk.ru](mailto:napev@irigs.irk.ru)

(Поступила 12.12.12)

### Аннотация

Изучены эколого-микробиологические и биохимические особенности почвенного покрова под влиянием выбросов алюминиевых заводов Сибири. Установлено, что в антропогенно-преобразованной почве подтайги под влиянием водорастворимой формы фтора (10–20 ПДК) наибольшее угнетение испытывают актиномицеты и хемоорганотрофные неспорообразующие бактерии. В черноземе степи под действием фтора (1–4 ПДК) наблюдается снижение уровня биохимической активности.

**Ключевые слова:** почвенный покров, аэротехногенные выбросы, микроорганизмы, биохимическая активность

### ВВЕДЕНИЕ

Человечество связывает надежды на выживаемость не только с чистой атмосферой и качеством воды, но и с состоянием почвенно-растительного покрова. Как известно, почва служит ядром городской системы и обеспечивает ее очищение, нейтрализацию вредных соединений, сохранность зеленых насаждений. Кроме того, состояние городских почв является индикатором условий жизни и здоровья населения. Отсюда вытекает актуальность изучения экологического состояния почв, подверженных мощному химическому воздействию выбросов алюминиевых заводов. В условиях ранимой природы Сибири эта проблема выглядит острее, особенно если учесть, что концепция устойчивого развития предполагает динамическое равновесие в социо-экосистемах различного уровня.

Цель настоящей работы заключалась в оценке влияния мощного техногенного загрязнения алюминиевой промышленности на микроорганизмы и биохимическую активность

почв в условиях подтаежных и степных ландшафтов Сибири.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами детального исследования служили почвы городов (Шелехов, Саяногорск) и сопредельных территорий в зоне воздействия эмиссий алюминиевых заводов – Иркутского (ОАО “ИркАЗ-РУСАЛ”) и Саяногорского (САЗ) соответственно.

Город Шелехов находится на юге Иркутско-Черемховской равнины в 20 км к юго-западу от Иркутска. Согласно данным [1], в зоне влияния ИркАЗа преобладают антропогенно-преобразованные почвы с маломощным гумусовым горизонтом. Содержание водорастворимой формы фтора в этих почвах велико и отмечается на уровне 10–20 ПДК (слой 0–10 см). С удалением от завода содержание фтора снижается. В 2000 г. город был включен в приоритетный список городов России с самым высоким уровнем загрязнения воздуха. Это-

му способствует его расположение в котловине, откуда очень трудно удаляются аэротехногенные выбросы. В атмосфере над ИркаАЗом обнаружено около 200 соединений, в том числе бенз(а)пирен, формальдегид, хлорметан, диоксид азота, фтористый водород, твердые фториды, оксиды кремния [2].

Город Саяногорск расположен в южной части Минусинской котловины Красноярского края, в 16 км от САЗ. Почвенный покров в зоне влияния завода представлен малогумусными южными черноземами. Мощность поч-

венного профиля составляет 30–40 см. По данным [3], специфическими элементами выбросов САЗа, загрязняющими почвенные растворы, являются фтор и натрий. Уровень содержания водорастворимого фтора в почвах зоны воздействия пылегазовых эмиссий САЗа варьирует в пределах 1–4 ПДК.

Почвенный покров изучаемых территорий находится в модуле постоянного техногенного загрязнения, которое распространяется на большие площади. Такие почвы относятся к техногенно загрязненным.

ТАБЛИЦА 1

Численность микроорганизмов в почвенном покрове изучаемых городов и сопредельных территорий, млн КОЕ /г почвы

Точки отбора проб	Эубактерии хемоорганотрофные	Актиномицеты, усваивающие минеральные источники азота	Микромицеты	Коэффициент минерализации	
<b>Шелехов</b>					
<i>Селитебная зона</i>					
1	0.43	0.65	0.06	0.001	1.51
2	0.94	0.30	0.01	0.06	0.32
3	0.30	0.60	0.03	0.08	2.0
4	0.81	0.62	0.04	0.004	0.76
5*	0.52	1.4	0.06	0.005	2.70
<i>Промышленная зона</i>					
6	0.18	2.3	0.005	0.05	12.7
7	0.07	0.66	0.002	0.006	12.0
<i>Аграрная зона</i>					
8	0.58	1.20	0.3	0.07	2.1
9	0.80	1.50	0.4	0.08	1.87
<i>Контрольная (дерновая лесная почва)</i>					
10	2.1	1.30	0.79	0.08	0.62
<b>Саяногорск</b>					
<i>Селитебная зона</i>					
1	3.0	2.5	0.20	0.06	0.83
2	2.8	0.7	0.30	0.02	0.25
3*	3.4	2.6	0.33	0.03	0.77
<i>Промышленная зона</i>					
4	0.7	0.3	0.08	0.01	0.43
5	0.1	0.12	0.06	0.01	1.2
<i>Рекреационная зона</i>					
6	2.6	3.5	0.30	0.02	1.34
7	3.0	1.7	0.24	0.01	0.56
<i>Контрольная (чернозем, выщелоченный на карбонатном аллювии)</i>					
8	3.2	2.5	0.40	0.07	0.78

\*Частный сектор.

Отбор почвенных образцов для анализа осуществлялся с площадок размером 25 м<sup>2</sup> с глубины 0–10 см согласно методическим указаниям [4]. Из 10–15 отдельных проб готовился смешанный образец (в случае урбаноземов удалялся мусор и прочие включения). Санитарно-микробиологическую оценку проводили по общепринятым методикам [5]. Определение биохимической активности почв (БАП) выполнялось экспресс-методом, приведенным в [6]. Суть данного метода состоит в определении скорости (в часах) изменения величины рН в зависимости от выделяемого аммиака при разложении карбамида. Чем меньше количество часов, отражающих скорость реакции, тем выше уровень БАП. Данный интегральный показатель выбран не случайно. Известно, что параметр БАП служит информативным показателем ее функциональных возможностей на текущий момент времени и контролируется экологическими факторами. Щелочно-кислотные условия регистрировались потенциометрическим методом.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что в почвенном покрове Шелехова количество аммонифицирующих эубактерий колеблется от 0.3 до 0.94 млн КОЕ/г почвы для селитебной зоны. Значительно меньше их обнаружено в почвах промышленной (от 0.07 до 0.18 млн КОЕ/г) зоны; в контрольной зональной почве численность этой группы достигает 2.1 млн КОЕ/г (табл. 1). Наблюдается угнетение численности аммонифицирующих хемоорганотрофных бактерий под влиянием приоритетного загрязнителя – фтористого водорода – даже в почве селитебной зоны, для которой характерен привнос большого количества органических веществ антропогенного происхождения. Качественный состав хемоорганотрофных эубактерий представлен в основном бациллами и псевдомонадами. Кокковидные формы встречаются редко. Эти данные свидетельствуют о бедном биоразнообразии бактериальной составляющей. Актиномицеты, как оказалось, наиболее чувствительны к аэротехногенным выбросам ИркаЗа (см. табл. 1): их численность в почвах селитебной зоны колеблется от 0.01 до 0.06

млн КОЕ/г и значительно уступает контрольной, где выявлено 0.79 млн КОЕ/г почвы. В почве промышленной зоны численность данной группы на порядок меньше, что говорит о высокой ее чувствительности к воздействиям техногенных выбросов. Биоразнообразие актиномицетов низкое и представлено родом *Streptomyces*, секциями *Albus* и *Cinereus*. Численность микромицетов также невысокая, но разнообразие гораздо больше по сравнению с актиномицетами. Доминируют в почвенном покрове Шелехова толерантные к нейтральным и слабощелочным значениям рН микроскопические плесневые грибы родов: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Cladosporium*, *Scopulariopsis*. В то же время в зональной почве (контрольный образец), помимо вышеуказанных родов, обнаружены роды *Curvularia*, *Verticilium*, *Alternaria*, *Mycogone*, *Fusarium*, *Mucor*.

В работе исследован количественный и качественный состав санитарно-показательных бактерий (бактерий группы кишечной палочки, БГКП) в почвах. Из данных табл. 2 видно, что титр колиформных бактерий не превышал 0.1 для селитебной зоны, а колииндекс (количество колиформных бактерий в 1 г почвы) составлял 20–35. В промышленной зоне колиформные бактерии не обнаружены. Следовательно, почвенный покров Шелехова можно оценить как чистый и слабо загрязненный. Этот факт мы связываем не только с высокой санитарной культурой или высоким уровнем санитарно-гигиенических мероприятий и даже не с самоочищающей способностью почв, а преимущественно с ингибирующим действием приоритетного загрязнителя выбросов алюминиевого завода – фторидов (10–20 ПДК).

Результаты аналогичных исследований в Саяногорске (см. табл. 2) показали, что численность аммонифицирующих эубактерий значительно выше по сравнению с почвенным покровом Шелехова. Почвы селитебной зоны Саяногорска, как и рекреационной зоны, характеризуются высокой численностью аммонифицирующих бактерий. В почвах промышленной зоны численность аммонифицирующих эубактерий чрезвычайно мала. Качественный состав бактерий схож, так как в основном представлен бациллами и псевдомо-

ТАБЛИЦА 2

Санитарно-микробиологическая оценка почвенного покрова изучаемых городов и сопредельных территорий

Точки	Колиформные бактерии		Содержание видов санитарно-показательных бактерий, %			Оценка отбора проб санитарного состояния почвы
	Титр	Индекс	<i>E. coli</i>	<i>Ent. aerogenes</i>	<i>C. freundii</i>	
<b>Шелехов</b>						
<i>Селитебная зона</i>						
1	0.1	20.0	10	40	60	Слабо загрязненная
2	0.1	20.0	0	30	70	» »
3	0.1	30.0	10	30	60	» »
4	0.1	35.0	0	40	60	» »
5*	0.1	50.0	10	40	50	» »
<i>Промышленная зона</i>						
6	н/о	н/о	0	0	0	Чистая
7	н/о	н/о	0	0	0	»
<i>Аграрная зона</i>						
8	н/о	н/о	0	0	0	»
9	н/о	н/о	0	0	0	»
<i>Контрольная зона (дерновая лесная почва)</i>						
10	н/о	н/о	0	0	0	»
<b>Саяногорск</b>						
<i>Селитебная зона</i>						
1	0.001	135.0	10	30	60	Умеренно загрязненная
2	0.01	27.0	10	20	70	Слабо загрязненная
3*	0.0001	900	15	20	65	Сильно загрязненная
<i>Промышленная зона</i>						
4	0.1	38.0	0	20	80	Слабо загрязненная
5	0.1	24.0	0	20	80	» »
<i>Рекреационная зона</i>						
6	0.001	140	15	30	55	Умеренно загрязненная
7	0.001	320	10	25	65	» »
<i>Контрольная зона (чернозем, выщелоченный на карбонатном аллювии)</i>						
8	н/о	н/о	0	0	0	Чистая

Примечание. н/о – не обнаружено.

\*Частный сектор.

надами. Численность бактерий, усваивающих минеральные источники азота, несколько выше для почв Саяногорска, что не противоречит особенностям почвенных условий степного ландшафта для данной группы микроорганизмов. Численность актиномицетов здесь на порядок выше по сравнению с таковой для почв Шелехова, что соответствует общим закономерностям их эколого-географического распространения. Качественный со-

став этой группы более разнообразен. Помимо секций *Albus* и *Cinereus*, присутствуют представители *Roseus*. Сравнительно разнообразен качественный состав микромицетов в почвенном покрове. К микромицетам, доминирующим в почвах Шелехова, следует добавить *Spicaria* и *Rhizopus*.

Состав санитарно-показательных бактерий (БГКП) в почвах Саяногорска и сопредельных территорий представлен в табл. 2. Все пока-

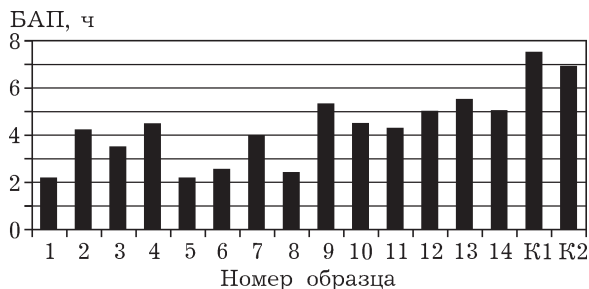


Рис. 1. Биохимическая активность почв (БАП) различных функциональных зон Шелехова и сопредельных территорий: 1–8 – селитебная зона; 9–11 – рекреационная; 12–14 – промышленная; K1, K2 – контроль.

затели свидетельствуют о загрязненности почв в санитарном отношении. Титр и индекс колиформных бактерий значительно колеблется в зависимости от места отбора проб. Так, *Escherichia coli* обнаружена во всех функциональных зонах города, за исключением промышленной. Санитарное состояние исследуемых почв оценивается по степени загрязнения от слабой до умеренной. Сравнительный анализ санитарных показателей городов позволяет сделать вывод о том, что почвы Саяногорска более загрязненные. Данный факт мы связываем со спецификой почвенного покрова Минусинской степи, в том числе с величиной рН почв (нейтральные и щелочные) и трансформацией элементов выбросов САЗа в пределах 1–4 ПДК.

Известно, что БАП – один из информативных показателей ее функциональных возможностей на текущий момент времени, который контролируется экологическими факторами, особенно щелочно-кислотными условиями. В этой связи нами применен экспресс-метод [6], который получил широкую апробацию и оправдал себя, особенно в исследованиях на урбанизированных и техногенных территориях [7].

Характер изменения БАП представлен в форме графиков (рис. 1, 2). Следует отметить, что биохимический потенциал почв как индикатор их современного экологического состояния и самоочищающей способности заслуживает особого внимания, поскольку является интегральным и высокоинформативным. Иными словами, БАП – полифункциональная характеристика, которая находится в прямой зави-

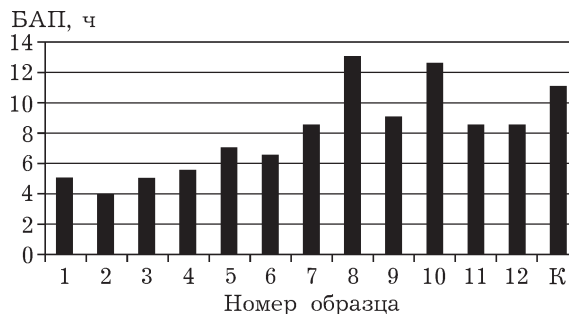


Рис. 2. Биохимическая активность почв (БАП) различных функциональных зон Саяногорска и сопредельных территорий: 1–6 – селитебная зона; 7–11 – промышленная; 12 – рекреационная; K – контроль.

симости от экологических факторов, в том числе антропогенных.

Для почвенных образцов Шелехова (см. рис. 1) в ходе лабораторных анализов установлено две совокупности данных, на основании которых можно выделить группы почв по степени активности: I группа – от 2 до 5 ч, II – от 5 ч и более. Чем больше число часов, отражающее скорость разложения мочевины, тем меньшей активностью обладают исследуемые почвы. В селитебной зоне активность по сравнению с контролем высокая, что характерно для урбанизированных почв. Данный факт нельзя рассматривать как положительный, поскольку существенное увеличение БАП может привести к потере биогенного элемента – азота. В рекреационной и промышленной зонах активность почвы несколько меньше и близка к значениям контрольной пробы. Для почвенных образцов Саяногорска (см. рис. 2) по степени активности можно выделить две группы почв: I группа – от 4 до 7 ч, II – от 8 ч и более.

Наблюдается сходство показателей БАП для селитебной сферы обоих городов, тогда как для почв промышленной зоны они ниже по сравнению с контролем.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали, что в случае Шелехова, где почвенный покров испытывает максимальную аэротехногенную нагрузку, наибольшее угнетение испытывают актиномицеты и хемоорганотрофные неспорообразу-

ющие бактерии. Впервые экспериментально выявлен химический след ингибирующего воздействия фторидов (10–20 ПДК), который особенно прослеживается по санитарно-микробиологическим показателям почв Шелехова.

Состояние почвенного покрова Саяногорска по данным показателям оценивается как неблагоприятное. Здесь меньше угнетаются колиформные бактерии под влиянием фторидов (1–4 ПДК). В этой связи санитарное состояние почвенного покрова Саяногорска требует внимания и специальных мероприятий. Так, посев многолетних трав, и в первую очередь бобовых, на газонах, придорожных полосах, внутридворовых пространствах, значительно снизит численность колиформных бактерий и улучшит общее санитарное состояние городских почв.

По сравнению с контролем в промышленной зоне городов и на сопредельных территориях прослеживается тенденция уменьшения биохимической активности почвы, связанной с круговоротом азота, на фоне снижения численности аммонифицирующих микроорганизмов.

Результаты исследования демонстрируют возможность использования индикационных биохимических и микробиологических показателей для экологического контроля почв в условиях потенциально опасных аэротехногенных выбросов алюминиевой промышленности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Белозерцева И. А., Матушкина О. А. Загрязнение атмосферы в пределах Байкальской природной территории // Современные проблемы Байкаловедения. Иркутск, 2001. С. 19–29.
- 2 Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Иркутской области. Иркутск, 2010. 420 с.
- 3 Давыдова Н. Д. Техногенные потоки и дифференциация вещества в геосистемах // Географические исследования в Сибири. Новосибирск: Наука, 2007. Т. 2. С. 261–276.
- 4 ГОСТ 17.4.02–84. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: Изд-во стандартов, 1984. С. 4.
- 5 Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 303 с.
- 6 Аристовская Т. В. // Почвоведение. 1989. № 11. С. 142–147.
- 7 Напрасникова Е. В. // Почвоведение. 2005. № 11. С. 1345–1352.