

На правах рукописи

БЕРСЕНЕВА
Оксана Андреевна

**ЭКОЛОГО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАЗЕМНЫХ
ЭКОСИСТЕМ В РАЙОНЕ ПРЕДПРИЯТИЙ АЛЮМИНИЕВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

03.02.08 - экология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Улан-Удэ - 2010

Работа выполнена на кафедре физико-химической биологии
Иркутского государственного университета

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Саловарова Валентина Петровна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Попкова Софья Марковна

кандидат биологических наук, доцент
Парфенова Валентина Владимировна

Ведущая организация: Экологический факультет Российского
Университета Дружбы народов

Защита состоится 18 ноября 2010 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д212.022.03 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук в Бурятском государственном университете по адресу: 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина 24а. Биолого-географический факультет, конференц-зал
Факс: (3012) 210588; e-mail: d21202203@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Бурятского государственного университета

Автореферат разослан «15» октября 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук



Н.А. Шорноева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В настоящее время во многих промышленно развитых странах мира экологическая ситуация близка к критической, особенно сильное техногенное воздействие на природную среду выявлено в крупных промышленных городах, представляющих собой техногенные провинции.

Самыми мощными источниками загрязнения окружающей среды являются крупные комбинаты цветной металлургии - только на территории Прибайкалья находится три предприятия, которые ежегодно увеличивают производственные мощности. Их выбросы оказывают негативное воздействие на атмосферу и среды жизни, наиболее сильно с ней связанные – прежде всего почву (Белозерцева, 2002; Помазкина, 2004). Вследствие этого существует угроза нарушения почвенных микроценозов. Микробные сообщества, являясь редуцентами экосистем, выполняют огромную роль в преобразовании органического вещества почв, поэтому без детальных исследований микросообществ не могут быть решены проблемы рационального природопользования, повышения плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур (Jennifer, 2006; Хабибуллина, 2009).

Несмотря на ключевую роль микроорганизмов в функционировании и устойчивости природных экосистем, возможности применения синэкологических показателей почвенных микросообществ для оценки состояния окружающей среды в зонах влияния аэропромвыбросов металлургических производств изучены недостаточно.

Имеющиеся исследования по оценке техногенного влияния металлургических производств на почвы и населяющие их микроорганизмы отрывочны и противоречивы (Бессолицина, 2007; Осауленко, 2009). На металлургических предприятиях не создана система как микробиологического, так и экологического мониторинга. Указанные обстоятельства определяют необходимость проведения исследований по оценке техногенного загрязнения наземных экосистем с использованием синэкологических показателей почвенных микросообществ.

Одним из крупных металлургических комбинатов Прибайкалья является Иркутский алюминиевый завод - ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ» (г. Шелехов), который являлся моделью для исследования экологических последствий, связанных с деятельностью предприятий алюминиевой промышленности.

Цель исследования: изучить структуру и функциональную активность микробных сообществ, обитающих в условиях загрязнения почвы аэропромвыбросами ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ».

Для достижения этой цели были поставлены следующие **задачи:**

1. изучить физико-химические характеристики среды обитания микроорганизмов;
2. провести анализ структуры микробного сообщества почвы, длительно существовавшего в условиях загрязнения аэропромвыбросами ИрКАЗ-РУСАЛ в сравнении с таковым из условно-чистой почвы;
3. определить степень токсичности фторид иона для почвенного микробного сообщества;
4. изучить влияние фторид иона на целлюлазную активность почвенной микробиоты;
5. оценить возможность использования показателей почвенных микросообществ в целях диагностики экологического состояния почв, подверженных техногенному воздействию.
6. определить содержание тяжелых металлов и фторидов в овощных культурах, выращенных на территориях, сопредельных с ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ» и охарактеризовать санитарно-гигиеническое качество товарной продукции этих культур.

Научная новизна. Впервые, на примере Иркутского алюминиевого завода (ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ»), проведены комплексные эколого-микробиологические исследования с целью оценки влияния аэропромвыбросов металлургических производств на почвенные микроценозы. Впервые проведен сравнительный анализ почвенных микробных сообществ в районе действия аэропромвыбросов алюминиевого завода и их естественных местообитаний в Прибайкальском регионе. Определен уровень антропогенного стресса, оказываемого аэропромвыбросами алюминиевого производства. Представлены данные о видовой структуре и ферментативной активности микробных сообществ как результат многолетнего воздействия выбросов алюминиевого производства. Показана возможность применения синэкологических показателей почвенных микросообществ для оценки степени техногенного загрязнения наземных экосистем. Получены сведения о степени токсичности фторидов для почвенного микробного сообщества. Выявлены биоиндикаторные виды микроорганизмов на загрязнение почв ионами фтора. Определено санитарно-гигиеническое качество картофеля, выращенного на территориях, сопредельных с алюминиевым производством.

Практическая значимость работы. Полученные в работе результаты существенно расширяют и дополняют современные представления о процессах, происходящих в экосистемах под воздействием антропогенных факторов, и могут найти практическое применение в биологическом мониторинге. Данные по видовому составу и ферментативной активности почвенных микросообществ могут служить основой для разработки микробиологических показателей экологического нормирования техногенного воздействия на наземные экосистемы. Результаты проведенных исследований могут быть использованы природоохранными организациями для диагностики экологического состояния почв и их загрязнения техногенными поллютантами, а также могут служить основой для оптимизации качества сельскохозяйственной продукции, получаемой на территориях, подверженных воздействию выбросов предприятия. Материалы исследований используются в учебном процессе при изучении дисциплин «Микробиология», «Экология и рациональное природопользование», «Биохимическая экология» на биолого-почвенном факультете ИГУ (акты внедрения приложены к диссертации) и включены в учебное пособие «Введение в биохимическую экологию».

Апробация работы. Результаты проведенных исследований были представлены на Всероссийской конференции молодых ученых «Экология в современном мире: взгляд научной молодежи» (Улан-Удэ, 2007), VII Региональной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной проблемам функционирования рынка товаров и услуг (Иркутск, 2006), Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию Российского университета кооперации «Управление торговлей: теория, практика, инновации» (Москва, 2008), Региональном научно-практическом семинаре «Достижения современной биотехнологии в решении эколого-биотехнологических проблем» (Иркутск, 2007), Всероссийской молодежной научно-технической конференции «Молодые ученые Сибири» (Улан-Удэ, 2008), III Международной конференции молодых ученых «Биоразнообразие. Экология. Адаптация. Эволюция» (Одесса, 2007), I Всероссийской научно-практической конференции «Биотехнология в интересах экологии и экономики Сибири и Дальнего Востока» (Улан-Удэ, 2010), III Общероссийской научной конференции «Фундаментальные и прикладные исследования в медицине» (Сочи, 2005).

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе 2 статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, и 1 учебное пособие.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на страницах; состоит из введения, обзора литературы, описания объектов и методов исследования, результатов собственных исследований и их обсуждения, выводов и списка литературы из 192 наименований, в т.ч. 62 иностранных авторов. Работа включает 24 таблицы, 15 рисунков и 7 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Объекты и методы исследований

В качестве объектов исследования использовались почвы, подвергшиеся длительному воздействию аэропромвыбросов Иркутского алюминиевого завода и контрольная почва, не подвергавшаяся воздействию выбросов, а также микробные сообщества, выделенные из этих почв. Кроме того, объектом настоящих исследований являлся картофель, выращенный на территориях, сопредельных с ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ».

Для изучения почвенной микробиоты использовали образцы серых лесных почв, которые отбирали с опытных площадок, расположенных вдоль градиента аэропромвыбросов ОАО «ИрКАЗ – РУСАЛ» с учетом господствующей розы ветров. Образцы отбирали на расстоянии 0,5; 5; 15 и 25 км от «ИрКАЗ-РУСАЛ» из верхнего горизонта (A_1) с глубины 0-10 см. Отбор образцов проводили в летний период 2006 – 2008 гг. в трехкратной повторности. Участок, находящийся на расстоянии 25 км служил контролем, поскольку был расположен вне зоны загрязнения, о чем свидетельствуют результаты исследований И.А. Белозерцевой (2002), согласно которым изменения физико-химического состава почв, связанные с выбросами предприятия не прослеживаются, начиная с 25 км от источника воздействия по факелу выбросов. Морфологическое описание разрезов проводили по общепринятым методикам (Гришина и др., 1991). При описании морфологии почв использовали классификацию почв России (Классификация и диагностика почв России, 1997 г).

Физико-химические свойства почв изучали с использованием общепринятых методик: гранулометрический состав по методу Качинского, сумму обменных оснований по Каппену - Гильковицу, подвижные формы фосфора и калия по методу Кирсанова по ГОСТ 26207-91. Содержание органического углерода (гумуса) определяли методом Тюрина, общего азота по методу Кьельдаля, целлюлозу и лигнин по методу Кюршнера и Комарова, рН водной и солевой вытяжки потенциометрическим методом (Шеин, Гончаров, 2006).

Валовое содержание тяжелых металлов определяли в Центре агрохимической службы «ЦАС Иркутский» на атомно-абсорбционном спектрофотометре Perkin-Elmer (США). Буферность почв по отношению к загрязняющим веществам рассчитывали согласно градации, разработанной В.Б. Ильиным (2007). Для оценки уровня химического загрязнения почв, рассчитывали коэффициент концентрации химического элемента (K_c) и суммарный показатель загрязнения (Z_c) (Сагет, 1991). Содержание фторидов определяли потенциометрическим методом с помощью портативного рН метра - иономера «эконикс-эксперт» 001 (Россия).

Выделение микроорганизмов из почв осуществляли методом посева почвенной суспензии на селективные среды (Звягинцев, 1993). Полученные чистые культуры микроорганизмов идентифицировали классическими методами почвенной микробиологии путем изучения культурально-морфологических и физиолого-биохимических свойств (Вятчина и др., 2009). Определение культур бактерий и актиномицетов проводили, руководствуясь определителем Берджи (Берджи, 1997). Видовое разнообразие микромицетов определяли, используя принятые в микологии определители (Литвинов, 1967; Rifai, 1969; Watanabe, 2000).

Микробные сообщества исследованных серых лесных почв, находящихся на разном расстоянии от Иркутского алюминиевого завода, характеризовали по видовому составу и ферментативной активности. Для анализа видовой структуры почвенных сообществ микромицетов, в разной степени подвергающихся воздействию аэропромвыбросов, использовали кривые доминирования – разнообразия Р. Уиттекера (Whittaker, 1972). Дополнительно, для оценки влияния градиента условий на видовую структуру микоценозов использовался коэффициент Сьёренсена (Мэггаран, 1992).

В лабораторных экспериментах по исследованию токсичности фторид иона на почвенные микроорганизмы использовали серую лесную почву с естественным содержанием фторидов из разреза, заложенного в 25 км от ОАО «ИрАЗ-РУСАЛ» по факелу выброса. Предназначенную для исследования почву высушивали до воздушно-сухого состояния, предварительно отделяли от крупных частиц и просеивали через сито диаметром 1 мм. Для определения предельной концентрации фторида использовали ряд последовательно возрастающих концентраций токсиканта (от 10 до 1000 мг/кг), который вносили в почвенные образцы. Контролем служила серая лесная почва с естественным содержанием фторидов. Подготовленные таким образом образцы почвы, (каждый весом 25 г) инкубировали в чашках Петри при температуре 30⁰С и влажности 60% от полной влагоемкости. Через четырнадцать суток экспонирования готовили почвенное разведение, характерное для каждой группы микроорганизмов с последующим высевом почвенной суспензии на среду LB. Учет почвенной микробиоты проводили на 4-14 сутки. Подсчитывали число колоний, выросших на среде LB и определяли численность почвенной микробиоты в колониеобразующих единицах (КОЕ) на 1г почвы. Уровень чувствительности микроорганизмов к фторид иону оценивали по наличию или отсутствию роста на данной агаризованной среде, а так же по диаметру колоний. Для количественной оценки устойчивости микроорганизмов к фторидам использовали метод накопления частот (Рекомендации по статистической обработке результатов экспериментально-токсикологических исследований, 1965), на основании вычисления, которого подсчитывали эффект от каждой дозы в процентах и строили характеристическую кривую в координатах: $N=f([F^-])$ и $D=f([F^-])$, где N – численность почвенных микроорганизмов (КОЕ/г а.с.п.), D – средний диаметр колоний (мм), а $[F^-]$ – концентрация фторида натрия в почве (мг/кг). Определение концентрации фторидов, вызывающей снижение диаметра колоний на 50%, проводили по характеристической кривой. Для оценки влияния фторида на биомассу почвенных микроорганизмов культуры почвенного микробного сообщества выращивали на жидкой питательной среде Чапека с добавлением фторида натрия различной концентрации (от 10 до 1000 мг/л). В качестве контроля использовали ту же среду, не содержащую фторид натрия. После посева колбы инкубировали в термостате при температуре 30⁰С в течение четырнадцати суток. По окончании инкубирования микробную биомассу отделяли от среды фильтрованием, промывали 0,05 М Na-ацетатным буфером и высушивали при 105⁰С до постоянного веса, количество биомассы определяли весовым методом. Сравнивали биомассу микроорганизмов, инкубированных на среде Чапека с различными концентрациями фторид иона, с контролем. Влияние фторид иона на целлюлазную активность почвенной микробиоты определяли путем глубинного культивирования микроорганизмов на жидкой питательной среде Чапека с целлюлозой. В состав среды вносили NaF в концентрациях от 10 до 1000 мг/л. Целлюлазную активность почвенных микроорганизмов определяли в культуральной жидкости модифицированным методом (Mandels, Veber, 1969).

С целью выявления способности тяжелых металлов и фторидов, содержащихся в почве, накапливаться в овощных культурах, проводили обследование выращенного на территории Шелеховского района картофеля, поскольку картофель является самым распространенным видом овощей, наиболее часто используемым в пищу. Отбор пробы картофеля проводили осенью перед

уборкой урожая по общепринятым методикам (Минеев и др., 2001). Для исследований были отобраны образцы картофеля сорта «Адретта», выращенные в четырех населенных пунктах, два из которых (п. Олха и п. Большой Луг) расположены вдоль оси факела выброса предприятия, и два – с. Баклаши и п. Марково, - соответственно справа и слева относительно оси факела выброса. Валовое содержание тяжелых металлов в образцах картофеля определяли в Центре агрохимической службы «ЦАС Иркутский» на атомно-абсорбционном спектрофотометре Perkin-Elmer (США). Исследование содержания фторидов в образцах картофеля выполняли потенциометрически на рН-метре-ионометре «Экотест-2000», оборудованном ионоселективным электродом.

Каждый опыт проводили в трех повторностях, после чего осуществляли статистическую обработку полученных результатов с целью оценки их достоверности. Для оценки достоверности полученных результатов рассчитывали среднее арифметическое значение с указанием среднего квадратичного отклонения (Гланц, 1998).

Характер функциональных зависимостей исследовали методом регрессионного анализа при уровне значимости ($P > 0.05$) с использованием пакета программ Microsoft Excel-2003.

Линеаризацию кривых доминирования-разнообразия проводили методом наименьших квадратов. Параметры линейного уравнения использовали, как сравнительные критерии крутизны и высоты, кривых доминирования-разнообразия.

Сравнение выборочных совокупностей проводили методом факторного анализа с использованием непараметрического критерия Фишера (F-критерия) при уровне значимости ($P > 0.05$).

Результаты исследований и их обсуждение

Известно, что на состав почвенных микробных сообществ существенное влияние оказывает тип почвы, ее физико-химический состав и биохимические свойства (Звягинцев и др., 2005). В этой связи представлялось важным изучить морфологическое строение и физико-химические свойства почв, находящихся на различном расстоянии от аэропромвыбросов ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ».

Оценка физико-химических условий среды обитания микроорганизмов

С целью определения влияния техногенного загрязнения почв от Иркутского алюминиевого завода, нами были отобраны и проанализированы почвенные образцы из разрезов, заложенных на различном удалении от источника выбросов с учетом господствующей розы ветров. Опытными почвами служили участки, находящиеся в 0,5, 5 и 15 км от ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ». По имеющимся данным (Белозерцева, 2002) изменения физико-химического состава почв, связанные с выбросами предприятия не прослеживаются, начиная с 25 км от источника воздействия по факелу выбросов. В связи с этим, участок, находящийся на расстоянии 25 км служил контролем, поскольку был расположен вне зоны загрязнения.

Местоположение и морфологическое строение почв, находящихся на разном расстоянии от промышленного узла выглядит следующим образом:

Разрез 1. Заложено в 0,5 км от ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ». Рельеф исследуемой местности равнинный, полого-увалистый, водораздел рек Олхи и Иркуты.

Формула почвенного профиля: $A_0 - A_d - A - AE - Bt - BC - C$. По морфологическому строению профиля почва является серой лесной слабоподзоленной среднесуглинистой на делювии легкого суглинка.

Разрез 2. Был заложен в 5 км от ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ». Рельеф исследуемой местности равнинный, полого-увалистый, приурочен к водоразделу рек Олхи и Иркуты. По «Классификации и диагностики почв России» (1997) почвенный профиль выглядит следующим образом: $A_0 - A_d - A - AB - BE - Bt - BC - C$. По морфологическому строению профиля почва является серой лесной слабоподзоленной среднесуглинистой на делювии легкого суглинка.

Разрез 3. Был заложен в 15 км от ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ», на склоне увала северно-восточной экспозиции.

Профиль исследуемого разреза имеет следующее строение: $A_0 - A_d - B_1 - B_2 - BC - C$. По морфологическому строению профиля почва является серой лесной слабоподзоленной среднесуглинистой на делювии легкого суглинка.

Разрез 4. Заложено в 25 км от ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ» (контрольная почва). Рельеф исследуемой местности – вершина увала.

Профиль этого разреза имеет следующее строение: $O - A_0' - A - B_1 - B_2 - BC - C$. Почва – светло-серая лесная среднеподзоленная среднесуглинистая на делювии глины.

Выбранные для исследования почвы существенно различались по своим физико-химическим и биохимическим характеристикам (табл.1).

Таблица 1

Характеристика исследуемых почв по физико-химическим и биохимическим показателям
(глубина 0-10 см)

Показатель	Пробы почв, расстояние от «ИрКАД-РУСАЛ»				Типичный показатель для серых лесных почв Восточной Сибири [Клевенская, 1966]
	0.5 км	5 км	15 км	25 км	
Содержание частиц, <0.01	30.8±1.43	31.7±2.0	31.4±2.5	30.9±1.44	28-30
pH H ₂ O	7.5±0.04	7.8±0.72	7.4±0.68	7.1±1.37	5.54-6.50
pH KCl	6.1±0.63	6.2±0.65	5.8±0.86	5.7±0.6	4.38-5.35
Влажность %	48±3.5	52±1.88	50±2.6	62±2.0	50-60
Гумус %	1.85±0.1	2.11±0.12	2.12±0.11	3.41±0.26	3.6-7.0
N общ %	0.12±0.04	0.14±0.03	0.16±0.03	0.19±0.04	0.20-0.40
C/ N	15.3±3.63	14.8±3.6	13.3±2.9	18.2±3.1	4-20
(Ca ²⁺ , Mn ²⁺ , Na ⁺) мг- экв/100г	30.7±4.3	31.6±2.5	30.3±3.4	20.3±2.0	17.6-40
K ₂ O мг/кг	118±8.9	132±13.4	146±13.8	197.5±12.6	190-220
P ₂ O ₅ мг/кг	231±17.1	245±12.8	267±13.3	433.8±17.8	300-500
Целлюлоза	6.6±0.67	7±0.7	7.2±1.2	7.6±1.44	6-8
Лигнин	6.9±0.69	5.3±1.0	5.8±1.26	7.3±1.15	7-14
Фториды, мг/кг	48.8±3.6	76.5±3.9	22.8±3.23	9.8±1.5	10(ПДК)

Примечание:

0.5 км - вдоль факела выброса (эпицентр загрязнения)

5 км - перед факелом выброса (ст. Олха)

15км - вдоль факела выброса (граница Иркутского и Шелеховского района)

25 км - вдоль факела выброса (ст. Большой луг)

Согласно проведенным исследованиям почвы имеют слабощелочную реакцию почвенного раствора (рН Н₂О для почв, находящихся в 0.5 и 5 км от завода составляет 7.5 и 7.8 соответственно, а в 15 км 7,4). Реакция контрольной почвы близка к нейтральной, в то время как для естественных серых лесных почв рН составляет 5.5 (Помазкина, 2004). Значения рН солевой вытяжки в среднем почти на 1.5-2 единицы ниже рН водной вытяжки, что свидетельствует о высоком уровне обменной кислотности. Изменение уровня рН подтверждает сведения о степени загрязнения почв фторидами, которые, согласно исследованиям ряда авторов (Помазкина и др., 2004), способствуют подщелачиванию почвы.

Влажность почвы, наряду с рН, оказывает очень сильное влияние на жизнедеятельность микроорганизмов. Оптимальная влажность для большинства почвенных микроорганизмов составляет 60 % от полной влагоемкости (Звягинцев и др., 2005). В исследуемых почвах влажность составляет (48%; 52%; 50%; 62% соответственно) при фоновых значениях 50-60%.

Сумма обменных оснований соответствует нормам характерным для этого типа почв, однако поглощающий комплекс почв, находящихся в 0.5; 5 и 15 км от предприятия более насыщен основаниями (30.7; 31.6 и 30.3 мг/экв на 100г почвы соответственно) по сравнению с контрольной почвой.

Содержание гумуса во всех пробах ниже нормы, но увеличивается по мере удаления от предприятия, что может свидетельствовать о замедлении процесса гумификации или усилении минерализации почвенной органики. Уменьшение содержания гумуса, очевидно, может оказать существенное отрицательное влияние на активность абиотических систем фиксации азота в почве, так как их функционирование зависит от физико-химических свойств органического вещества.

Одним из необходимых для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов элементом является азот. Содержание общего азота в контрольной почве близко к норме, а вблизи источника воздействия его количество ниже нормы почти в 1.5 раза, что свидетельствует о дисбалансе процессов накопления и выщелачивания элемента. Такая же тенденция прослеживается и по количеству подвижных форм К₂О и Р₂О₅, в контрольной почве в пределах норм и по мере приближения к заводу содержание К₂О и Р₂О₅ снижается, что может свидетельствовать о повышении скорости минерализации.

Важным фактором, влияющим на функционирование почвенных микроорганизмов, в числе других является соотношение С:N, которое характеризует, как обогащение гумуса азотом, так и гумификацию растительных остатков. Отношение С:N в почвах, находящихся в 0,5; 5, 15 и 25 км от предприятия составляет 15.3; 14.8; 13.3; 18.2 соответственно, что свидетельствует о низкой и очень низкой обогащенности их азотом.

Изменение относительного содержания лигнина и целлюлозы в исследованных почвах указывает на более высокую редуцирующую активность микроценозов вблизи источника воздействия по отношению к целлюлозе и лигнину.

Известно, что реакция микробного комплекса на загрязнение в различных типах почв связана с их буферными свойствами (Ильин, 2007). Согласно литературным данным основными компонентами, создающими буферность, являются гранулометрический состав, органическое вещество (гумус), а также реакция среды (рН) (Ильин, 2007). Результаты расчета буферной способности почв, находящихся в районе аэропромвыбросов алюминиевого завода приведены в таблице 2.

Таблица 2

Буферная способность почв, находящихся в районе аэропромвыбросов
ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ»

Пробы почв, расстояние от «ИрКАЗ-РУСАЛ»	Почва	Компоненты почв, определяющие ее буферность			Балл буферности почв, степень буферности (Ильин, 2007)
		Физ. глина	рН	гумус	
0.5 км	серая лесная	30.8±1.43 (10)	7.5±0.04 (10)	1.85±0.1 (3)	23 слабая
5 км	серая лесная	31.7±2.0 (10)	7.8±0.72 (10)	2.11±0.12 (3)	23 слабая
15 км	серая лесная	31.4±2.5 (10)	7.4±0.68 (10)	2.12±0.11 (3)	23 слабая
25 км	светло-серая лесная	30.9±1.44 (10)	7.1±1.37 (10)	3.41±0.26 (4)	24 средняя

Представленные в таблице 2 данные показывают, что почвы, находящиеся в (0,5; 5; и 15 км) от промышленного узла характеризуются слабой буферной способностью обезвреживать техногенные вещества. Буферная способность контрольной почвы – средняя.

Важнейший фактор, влияющий на состояние микробных сообществ в почвах – загрязнение тяжелыми металлами (Гузев, Левин, 2001). Уровень содержания тяжелых металлов варьировал в зависимости от расстояния от ОАО «ИрАЗ-РУСАЛ» и вида экотоксиканта (табл. 3).

Таблица 3

Валовое содержание тяжелых металлов в опытных и контрольной почвах

Пробы почв, расстояние от «ИрАЗ-РУСАЛ»	Тяжелые металлы мг/кг (валовые формы)				
	Zn	Cd	Ni	Pb	Cu
0.5 км	33.4±2.6	0.37±0.08	35.5±2.1	11.93±0.28	16.64±0.94
5 км	60.0±2.83	0.44±0.12	22.7±1.75	11.60±1.23	13.42±0.42
15 км	30.3±2.4	0.22±0.09	20.5±2.0	11.28±0.47	13.36±0.59
25 км	15.8±1.78	0.18±0.05	10.5±1.88	8.66±0.48	12.5±1.78
Региональный фон	60	0.20	32	20	22.9

Как видно из таблицы 3, среднее содержание Zn в исследуемых почвах находится в пределах его регионального фоновое значения (60 мг/кг) и в контрольной почве больше чем в четыре раза ниже фона. Значение Cd в серых лесных почвах, находящихся в 0.5; 5 и 15 км от предприятия выше рекомендованного фона при его региональном фоновом значении для данного типа почв 0.20. При величине регионального фоновое значения Cu в почвах, равном 22,9 мг/кг, следует считать, что его содержание находится в безопасных пределах. Содержание Cu в контрольной почве составило 12.5 мг/кг такая концентрация в два раза ниже регионального фона. Среднее содержание Ni в исследуемых почвах составляет (35.5, 22.7, 20.5, 10.5 соответственно) при его региональном фоновом значении 32 мг/кг. Анализ определения свинца в почвах показал, что его содержание не превышает его региональное фоновое значение – 20 мг/кг.

Для оценки уровня химического загрязнения почв, рассчитывали коэффициент концентрации химического элемента (K_c), а также суммарный показатель загрязнения (Z_c). Оценка загрязнения исследуемых почв приведена в таблице 4.

Таблица 4

Оценка загрязнения исследуемых почв

Пробы почв, расстояние от «ИрАЗ-РУСАЛ»	Почва	Коэффициент концентрации ТМ (K_c)					Суммарный показатель загрязнения (Z_c)
		Zn	Cd	Ni	Pb	Cu	
0.5 км	серая лесная	0.5±0.14	1.8±0.37	1.1±0.12	0.6±0.06	0.7±0.12	>4
5 км	серая лесная	0.8±0.44	2.2±0.6	0.7±0.09	1.7±0.06	0.6±0.09	>4
15 км	серая лесная	0.5±0.018	1.2±0.5	0.6±0.15	0.5±0.03	0.6±0.03	<4
25 км	светло-серая лесная	0.2±0.03	0.9±0.23	0.3±0.05	0.4±0.017	0.5±0.1	<4

Из данных, представленных в таблице 4 видно, что K_c кадмия в почве, находящейся в 0.5 и 5 км оказался достаточно высок и равен 1.8 и 2.2 соответственно, что говорит о накоплении данного элемента в почве. Для других элементов превышений значения K_c не обнаружено, за исключением Ni для которого характерно незначительное превышение коэффициента концентрации в почве, находящейся вблизи промышленного узла (0.5 км).

Проведенный анализ суммарного загрязнения почв, отражающий эффект воздействия группы элементов, показал, что исследуемые почвы, находящиеся в 0.5 и 5 км от предприятия относятся к категории умеренного загрязнения, поскольку величина $Z_c > 4$. Почвы, находящиеся в 15 и 25 км от эпицентра воздействия относятся к категории допустимого загрязнения, величина (Z_c) < 4.

Токсический эффект выбросов Иркутского алюминиевого завода на почвы в значительной

степени связан с содержанием в них фтора и главным образом его подвижных форм. Наибольшее содержание фторида было зарегистрировано в почве, которая находилась, в 5 км от источника загрязнения и составляло 76.5 мг/кг (7 ПДК), что связано с воздушным переносом выбросов ОАО «ИрАЗ-РУСАЛ». Содержание фторид иона в почвах, находящихся в 0,5 и 15 км от предприятия составило 48.8 и 22.8 мг/кг, что более чем в 4 и 2 раза превышает предельно-допустимый уровень. В контрольной почве содержание фторидов соответствует ПДК.

Таким образом, проведенные исследования показали, что под действием аэропромвыбросов Иркутского алюминиевого завода происходит в основном подщелачивание, связанное с накоплением фторидов и тяжелых металлов Cd и Ni, которые выявлены в количестве, превышающим их фоновое значение. В исследованных почвах складываются неодинаковые условия для развития микробиоты.

Биоразнообразие почвенных микроорганизмов в зоне воздействия аэропромвыбросов алюминиевого завода

Биоразнообразие микроорганизмов в исследуемых серых лесных почвах, находящихся в зонах воздействия ОАО «ИрАЗ-РУСАЛ» представлено: микроскопическими грибами, бактериями и актиномицетами. Из исследуемых образцов серых лесных почв, находящихся на разном расстоянии от ОАО «ИрАЗ-РУСАЛ» было выделено и изучено 14 видов микромицетов, относящихся к 9 родам: *Mucor*, *Chaetomium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Verticillium*, а также многочисленные бактериальные штаммы преимущественно рода *Bacillus*.

Актиномицеты были обнаружены только на расстоянии 25 км (контрольная почва) и представлены родом *Streptomyces*.

Видовая структура микромицетов в исследуемых серых лесных почвах

Для сравнительной оценки видового состава микосообществ был использован градиентный подход, основанный на расчете коэффициента Сьёренсена для сообществ, выделенных из исследуемых почв. Расчет коэффициента Сьёренсена показал, что градиент условий окружающей среды, определяющих видовой состав микоценозов, достаточно крутой: для опытной (0,5 км) и контрольной точек (25 км) общих видов не обнаружено (коэффициент равен нулю), а сходство между сообществами «0,5–5 км» и «5–25 км» примерно одинаково (значение коэффициента 0.4 и 0.46 соответственно).

Анализ видовой структуры почвенных сообществ микромицетов, производился с использованием кривых доминирования – разнообразия Р. Уиттекера (Whittaker, 1972). Данный метод позволяет охарактеризовать в сравнительном аспекте, как видовое богатство, так и выравненность видов в сообществе. Многочисленные данные наблюдений ряда исследователей (Мухин и др., 2000) подтверждают, что в богатых ненарушенных сообществах эквитабельность (выравненность) выше, чем в деградирующих. Структурный перекокс и увеличение значимости видов-доминантов – реальный признак ухудшения качества среды.

На рисунке 1 по оси абсцисс указана последовательность видов от наиболее обильного к наименее значимому, по оси ординат в логарифмическом масштабе представлено обилие видов, оцениваемое как число колоний разных видов грибов, выросших на агаризованных средах сусло-агар (А) и среде Чапека (Б) (табл. 5).

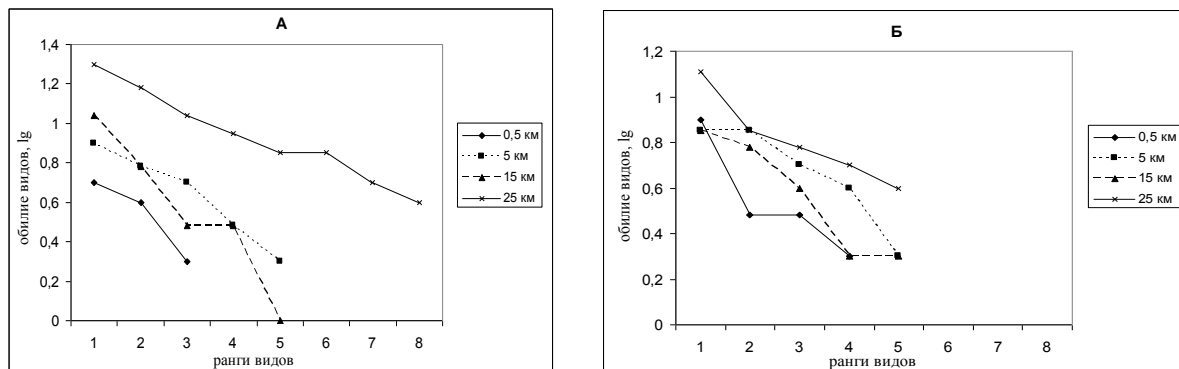


Рис. 1. Кривые доминирования – разнообразия сообществ микромицетов, выделенных из почв пробных площадок, расположенных вдоль градиента аэропромвыбросов.

А – культивирование на среде сусло-агар

Б – культивирование на селективной среде Чапека в присутствии целлюлозы

Видовой состав микромицетов, выделенных из почв, в разной степени подверженных воздействию аэропромвыбросов

Расположение пробной площадки относительно «ИркАЗ-РУСАЛ»	Число колоний на агаризованных средах:		Виды микромицетов в порядке убывания обилия
	сусло-агар	Чапека	
0,5 км вдоль факела выброса	4	8	<i>Aspergillus niger</i>
	5	3	<i>Aspergillus flavus</i>
	2	3	<i>Penicillium purpurogenum</i>
	-	2	<i>Verticillium album</i>
5 км перед факелом выброса	6	7	<i>Aspergillus niger</i>
	5	7	<i>Penicillium funiculosum</i>
	8	2	<i>Penicillium velutinum</i>
	3	4	<i>Trichoderma koningii</i>
	-	5	<i>Penicillium purpurogenum</i>
	2	-	<i>Fusarium oxysporum</i>
15 км вдоль факела выброса	11	6	<i>Aspergillus niger</i>
	-	7	<i>Aspergillus flavus</i>
	6	-	<i>Penicillium sp.</i>
	1	4	<i>Penicillium purpurogenum</i>
	3	2	<i>Penicillium funiculosum</i>
	3	-	<i>Rhizopus sp.</i>
	-	2	<i>Chaetomium sp.</i>
25 км вдоль факела выброса (ст. Большой луг)	20	7	<i>Penicillium sp.</i>
	5	13	<i>Trichoderma viride</i>
	9	6	<i>Penicillium funiculosum</i>
	11	4	<i>Penicillium velutinum</i>
	15	-	<i>Mucor sp.</i>
	7	5	<i>Trichoderma koningii</i>
	7	-	<i>Rhizopus sp.</i>
	4	-	<i>Alternaria sp.</i>

Сравнительный анализ кривых рисунка 1 и данных табл. 5, позволил установить следующие закономерные изменения видовой структуры микоценозов:

во-первых, по мере удаления от источника воздействия увеличивается количество видов: четыре вида грибов вблизи предприятия, шесть видов – на расстоянии 5 километров перед факелом выбросов, по семь и восемь видов на 15 и 25 км соответственно по факелу выброса.

во-вторых, во всех исследованных микоценозах доминируют представители родов *Aspergillus* и *Penicillium*, причем, чем выше уровень антропогенного воздействия, тем в большей степени наблюдается доминирование грибов рода *Aspergillus*, а представители рода *Trichoderma* обнаружены либо на достаточно большом расстоянии от источника воздействия (25 км), либо на пробной площадке, расположенной перед факелом выброса.

в-третьих, по мере приближения к источнику воздействия увеличивается доля видов, способных расти на селективной целлюлозосодержащей среде, причем, у многих микромицетов хороший рост отмечался только в присутствии целлюлозы. Соотношение «число видов на селективной среде / общее число видов» по мере удаления от предприятия составило 1/1, 5/6, 5/7 и 5/8, а соотношение «число колоний на селективной среде / число колоний на среде сусло-агар» - соответственно 3/2, 1/1, 1/1, 1/2. Это свидетельствует о том, что более высокая устойчивость к загрязнению определяется не только таксономией микроорганизма, но и его экологической функцией, например редукцией растительных полимеров.

в-четвертых, если исходить из положения, что высота и крутизна кривой «доминирования-разнообразия» являются критерием оценки состояния сообщества, то наблюдается закономерная ситуация: по мере приближения к источнику воздействия крутизна кривой увеличивается, снижается видовое разнообразие и обилие видов. Однако у сообществ, растущих на селективной среде, эта тенденция менее выражена: для них «дельты» констант линейной аппроксимации кривых контрольного (25 км) и опытного (0,5 км) участков как минимум в полтора-два раза ниже, чем у

«полного» микоценоза.

Данная картина свидетельствует о более высокой устойчивости к стрессовым воздействиям, микроорганизмов растущих на селективной среде. По наименьшему наклону кривых в точках 5 и 15 километров микоценозов выросших на целлюлозосодержащей среде свидетельствует о межвидовой конкуренции за субстрат.

Таким образом, сравнение микобиот исследуемых почв показало, что по мере приближения к эпицентру воздействия (ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ») наблюдается достоверное снижение численности и видового разнообразия микромицетов – сокращается состав сообщества, а доминантами становятся резистентные виды микроскопических грибов, способных осуществлять редукцию растительного субстрата.

Ферментативная активность почвенной микобиоты

Редуцирующая активность микроорганизмов определяется, прежде всего, особенностями их ферментных систем. В этой связи все выделенные культуры микромицетов были проанализированы на наличие потенциальной активности следующих ферментов: протеазы, уреазы, лецитиназы, липазы, амилазы, целлюлазы и фенолоксидазы. Отмечено, что большой процент штаммов проявил высокую ту или иную ферментативную активность. Биохимические характеристики штаммов микромицетов представлены в таблице 6.

Таблица 6

Ферментативная активность почвенной микобиоты

Расстояние от «ИрКАЗ-РУСАЛ»	Название вида	Биохимический тест						
		протеаза	уреаза	лецитиназа	липаза	амилаза	целлюлаза	фенолоксидаза
0.5 км	<i>Penicillium purpurogenum</i>	+	-	+	-	±	+	-
	<i>Aspergillus niger</i>	+	-	-	+	+	+	-
	<i>Aspergillus flavus</i>	+	-	-	+	+	±	-
	<i>Verticillium album</i>	-	±	+	-	-	-	-
5 км	<i>Penicillium funiculosum</i>	+	-	+	-	+	+	-
	<i>Aspergillus niger</i>	+	±	±	+	+	+	-
	<i>Penicillium velutinum</i>	+	-	+	-	+	±	-
	<i>Trichoderma koningii</i>	+	-	+	-	-	+	-
	<i>Penicillium purpurogenum</i>	+	-	-	±	+	±	-
	<i>Fusarium oxysporum</i>	-	-	+	±	-	-	-
15 км	<i>Penicillium sp.</i>	+	-	+	-	+	±	-
	<i>Aspergillus flavus</i>	+	±	+	±	+	+	-
	<i>Aspergillus niger</i>	+	-	-	+	+	+	-
	<i>Penicillium purpurogenum</i>	+	-	+	-	-	±	-
	<i>Penicillium funiculosum</i>	+	-	+	±	-	+	-
	<i>Rhizopus sp.</i>	+	±	-	-	-	-	-
	<i>Chaetomium sp.</i>	-	±	+	-	-	-	-
25 км	<i>Trichoderma viride</i>	+	-	+	±	+	+	-
	<i>Penicillium sp.</i>	+	+	+	-	+	+	+
	<i>Mucor sp.</i>	+	-	+	-	-	-	-
	<i>Penicillium funiculosum</i>	+	+	+	±	-	+	-
	<i>Trichoderma koningii</i>	+	±	+	±	-	+	-
	<i>Penicillium velutinum</i>	+	+	+	±	-	+	-
	<i>Rhizopus sp.</i>	+	+	+	-	-	-	-
	<i>Alternaria sp.</i>	-	±	+	+	±	±	-

Примечание:

+ хороший рост;

± средний рост;

* отсутствие роста

Как видно из таблицы 6 протеолитическая активность при росте на молочном агаре отмечается у большинства штаммов, что составляет 84 % от общего количества всех проанализированных культур. Уреазная активность отмечена у 28%, лецитиназная - 78% культур. Липолитические ферменты были обнаружены у 36 % исследуемых культур микромицетов, а амилолитические у 48% культур. Целлюлазная активность выявлена у 64% штаммов, а фенолоксидазная активность только у одного штамма – *Penicillium* sp., выделенного из контрольной почвы.

Долевое соотношение разных видов ферментативной активности приведено на рис. 2.

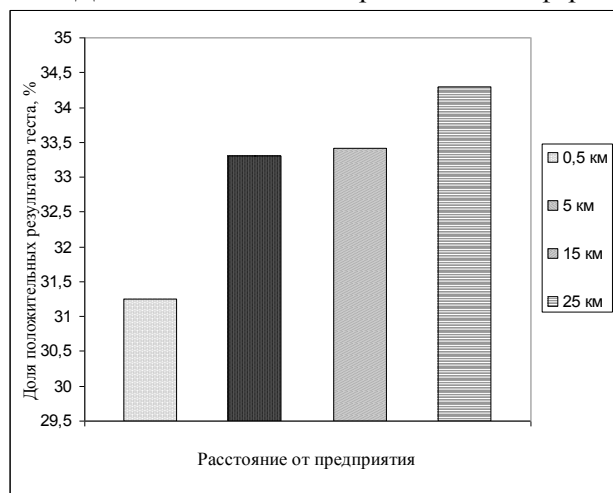


Рис. 2. Долевое соотношение ферментативной активности микромицетов

Данные представленные на рисунке 2 свидетельствуют о том, что доля положительных результатов теста увеличивается по мере удаления от промышленного узла.

Кроме того, необходимо отметить, что в опытных почвах ферментативно активных штаммов было больше среди представителей рр. *Aspergillus* и *Penicillium*, что свидетельствует о их более высокой эврифагности, по сравнению с другими культурами микроскопических грибов, выделенных из опытных почв.

В целом ферментативная активность штаммов, выделенных из контрольной почвы, выше, чем у штаммов, изолированных из опытных почв.

Оценка видового состава прокариотного сообщества в исследуемых серых лесных почвах

Видовой состав прокариотного сообщества в исследуемых серых лесных почвах представлен в основном бактериями. Актиномицеты обнаружены только в контрольной почве. Отсутствие актиномицетов в опытных почвах обусловлено их высокой чувствительностью к соединениям фтора и тяжелым металлам, концентрация которых довольно высока в этих почвах. Кроме того, известно, что актиномицеты лучше развиваются в почвах имеющих нейтральную реакцию, богатых органическими веществами, с хорошими физико-химическими свойствами (Зенова, Звягинцев, 2001), данным характеристикам соответствует контрольная почва.

В исследованных почвенных микробных сообществах бактерии представлены аэробными мезофильными формами со сходными физиологическими свойствами. Исследование физиолого-биохимических свойств бактериальных штаммов, обитающих на разном удалении от предприятия, показало, что культуры из контрольной почвы более толерантны к воздействию неблагоприятных факторов и способны утилизировать более широкий спектр субстратов по сравнению с культурами из опытных почв: из 18 испытанных сред, микроорганизмы из контрольной точки в среднем росли на 14, а бактерии из опытной точки показали явный рост только на 6 средах. Это может свидетельствовать о неблагоприятном воздействии аэропромвыбросов, которые угнетают жизнедеятельность микроорганизмов.

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что существуют таксономические и биохимические различия между сообществами микроорганизмов, обитающих в почвах лесных биоценозов, расположенных вдоль градиента аэропромвыбросов Иркутского алюминиевого завода. Проведенные исследования показали, что под действием выбросов предприятия происходит изменение химических свойств почв. Это в свою очередь привело к снижению численности и видового разнообразия микроорганизмов.

Влияние фторидов на функционирование почвенного микробного сообщества

Проведенный ранее физико-химический анализ почв показал, что в исследованных серых

лесных почвах Шелеховского района содержание фторидов превышает ПДК в 4.8-7.6 раз, что объясняется деятельностью ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ». Микроорганизмы особенно чувствительны к изменениям химических условий среды, что позволяет использовать показатели микробных сообществ в целях биологической индикации в частности, фторид ионов.

В научной литературе практически отсутствуют сведения о степени токсичности фторидов на природные микробоценозы, а имеющиеся данные отрывочны и противоречивы. В этой связи представлялось важным изучить влияние фторидов на почвенные микроорганизмы, в зависимости от степени антропогенного воздействия.

Влияние фторидов на численный состав, видовую структуру и биомассу почвенного микробиоценоза

В ходе исследований из контрольной почвы было выделено несколько таксономических групп микроорганизмов:

- 8 видов микромицетов, относящихся к родам *Mucor*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Rhizopus*;
- актиномицеты рода *Streptomyces*;
- бактерии родов *Bacillus* и *Pseudomonas*.

Один из наиболее информативных показателей, отражающих состояние почвенной микробиоты – учет численности микроорганизмов. Данные о численности микроорганизмов в загрязненной фторид ионом серой лесной почве и контроле представлены на рисунке 3.

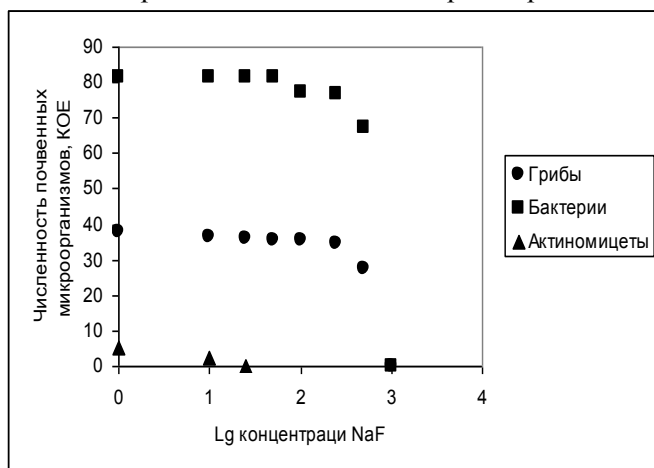


Рис. 3. Зависимость численности почвенных микроорганизмов (КОЕ/г а.с.п.) от степени нагрузки серых лесных почв фторидами

Результаты эксперимента свидетельствуют, что контрольная почва характеризуется наиболее высокой численностью микроорганизмов, которая закономерно снижается по мере увеличения концентрации фторида натрия.

Несмотря на снижение общей численности микроорганизмов из исследуемой группы микробиоты (грибы, бактерии, актиномицеты) можно выделить микроорганизмы устойчивые к фториду (рис. 4).

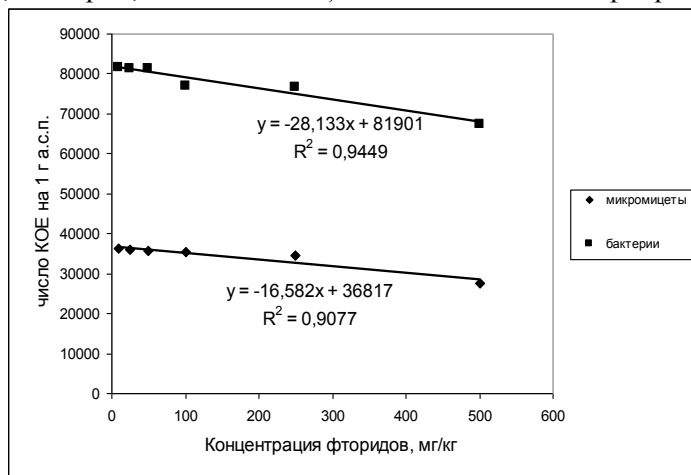


Рис.4. Влияние возрастающих концентраций фторид иона на численность основных групп почвенной микробиоты

Из данных представленных на рисунке 4 видно, что наибольшую устойчивость к фторид иону, проявляют бактерии. Коэффициент линейной аппроксимации для бактерий, составляет 0,9449, в то время как для микромицетов 0,9077.

Наибольшую чувствительность к экотоксиканту проявляют актиномицеты. Уже при минимальной нагрузке по фториду (10 мг/кг) их количество уменьшается в 2 раза по сравнению с контролем, а при 25 мг F на кг почвы их развитие полностью подавляется.

Более показательные результаты были получены при исследовании влияния поллютанта на видовую структуру микроценоза, которая анализировалась по динамике линейного роста видов при разных концентрациях фторида (табл. 7).

Таблица 7

Влияние фторид иона на динамику линейного роста почвенных микроорганизмов

Микро сообщество	Концентрация NaF, мг/кг							
	0	10	25	50	100	250	500	1000
	Диаметр колоний на среде LB, мм							
<i>Penicillium</i> sp.	10.2±1.6	9.6±2.8	9.4±1.3	8.7±1.8	8.4±2.6	8.1±4.6	5.2±0.7	–
<i>Penicillium funiculosum</i>	12.5±0.6	12.2±2.6	10.1±0.7	8.5±0.6	6.6±1.4	6.1±0.7	5.2±0.94	–
<i>Trichoderma koningii</i>	13.5±2.6	10.7±1.9	9.4±2.6	9.2±1.56	7.7±2.7	6.8±2.9	–	–
<i>Penicillium velutinum</i>	9.8±1.91	9.5±1.64	7.3±1.84	6.9±2.2	4.7±0.7	–	–	–
<i>Trichoderma viride</i>	14.4±2.7	11.3±4.0	8.7±2.2	–	–	–	–	–
<i>Rhizopus</i> sp.	12.6±1.6	11.5±0.8	9.3±0.4	–	–	–	–	–
<i>Mucor</i> sp.	12.3±2.9	11.5±0.8	8.6±1.35	–	–	–	–	–
<i>Alternaria</i> sp.	7.8±1.4	6.9±1.9	6.3±2.6	–	–	–	–	–
<i>Streptomyces</i> sp.	7.1±0.24	2.9±1.3	–	–	–	–	–	–
<i>Bacillus</i> sp.	10.7±2.4	10.5±2.0	9.8±1.4	9.4±3.3	8.8±0.7	8.5±1.7	7.6±1.7	–
<i>Bacillus megaterium</i>	10.2±1.8	9.7±2.1	9.0±1.3	8.4±2.3	8.0±0.9	7.3±1.4	6.2±1.3	–
<i>Pseudomonas</i> sp.	9.3±1.9	9.1±2.9	7.9±1.7	7.3±0.7	6.8±2.1	–	–	–
<i>Aspergillus niger</i>	–	–	–	–	18.1±2.0	10.2±1.6	–	–
<i>Aspergillus flavus</i>	–	–	–	–	15.2±1.4	8.4±2.7	–	–

Примечание:

«–» – рост не обнаружен

Во всех вариантах опыта с увеличением концентрации фторид иона отмечается достоверное уменьшение диаметра колоний, что является результатом торможения скорости роста микроорганизмов.

Из таблицы 7 видно, что различия в антропоотолерантности представителей почвенной микробиоты привели к нарушению структуры микробного сообщества почвы. Гомеостаз структуры микробного сообщества в серой лесной почве нарушается уже при концентрации фторид иона 25 мг/кг почвы. Из состава почвенного микробоценоза выпадают актиномицеты.

В составе микробного комплекса почвы, загрязненной фторидом натрия появляются некоторые виды микроскопических грибов, не обнаруженные в контрольной почве. К таким микроорганизмам относятся представители р. *Aspergillus* (*Aspergillus niger* и *Aspergillus flavus*). Эти виды появляются при концентрации фторид иона 100 мг/кг. Очевидно, что данная концентрация фторида вызвала адаптивную перегруппировку структуры микробообщества с появлением видов толерантных к высоким концентрациям данного токсиканта. Такие изменения развития популяций микроорганизмов в почве отражают появление зоны резистентности почвенной микробиоты.

Обработка почвы фторидом натрия в концентрации 250 мг/кг, сопровождается снижением разнообразия микромицетов: в ней обнаруживаются только виды *Penicillium* sp. и *Penicillium funiculosum*.

В бактериальной флоре преобладают палочковидные формы, как образующие споры, так и аспорогенные. Спорообразующие бактерии проявляли большую устойчивость к загрязнению почвы фторидом натрия по сравнению с аспорогенными. При концентрации 500 мг/кг F⁻ на четвертые сутки роста из бактериальной флоры обнаружены только споры бактерий (рис.5), вегетативные клетки не обнаружены, что объясняется токсическим действием фторид иона на клетки бактерий и сохранением спор бацилл, устойчивых к неблагоприятным условиям.

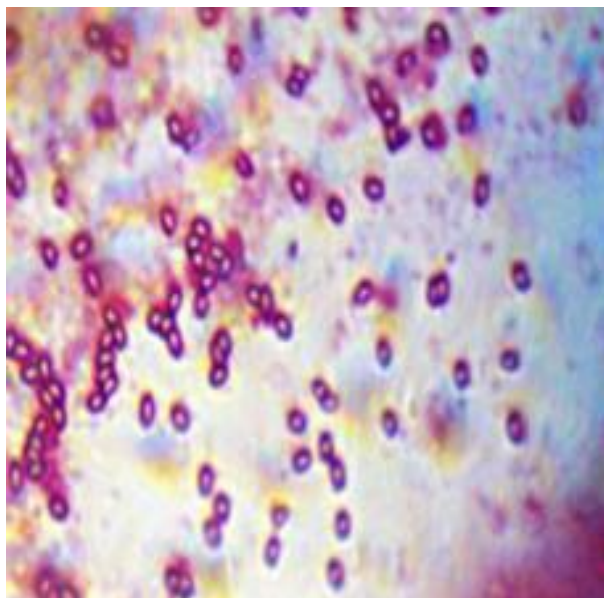


Рис.5. *Bacillus* sp. на 24 сутки роста x1350

Таким образом, при очень высоких концентрациях фторид иона (500 мг/кг) в почве остаются преимущественно микроскопические грибы р. *Penicillium*, а также спорообразующие бактериальные штаммы р. *Bacillus*. Данная концентрация фторида натрия является экологическим максимумом, и дальнейшее увеличение концентрации фторида до 1000 мг/кг приводит к полному подавлению роста почвенного микробного сообщества.

Методом накопления частот была определена токсичность фторида натрия (по LD 50) в качестве критерия токсичности использовали линейный рост микроорганизмов (рис. 6).

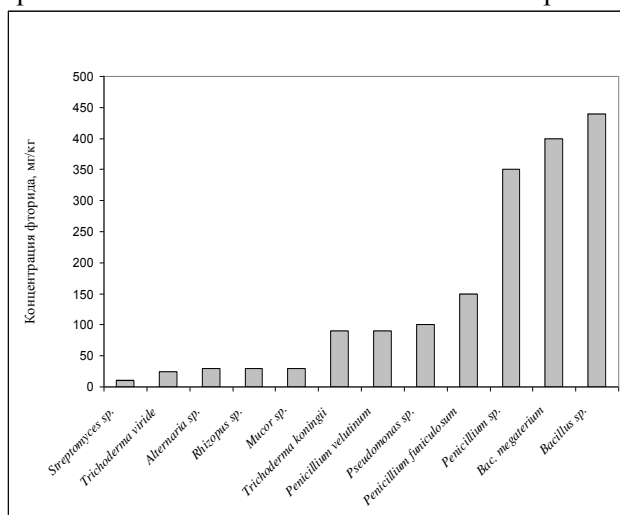


Рис.6. Токсичность NaF (LD 50) по динамике линейного роста микроорганизмов

Данные рисунка 6 свидетельствуют о различной экологической валентности к фториду почвенных микроорганизмов. По отношению к фторид иону, выделенные культуры можно разделить на 4 группы: абсолютно не резистентные виды, виды с низкой чувствительностью, средне чувствительные виды и устойчивые (резистентные) виды.

К первой группе можно отнести актиномицеты вида *Streptomyces* sp. и гриб *T. viride* предел их экологической валентности от 0 до 25 мг/кг F⁻. У грибов *Alternaria* sp., *Rhizopus* sp. и *Mucor* sp. выявлена низкая чувствительность к воздействию фторидов. Линейный рост колоний данных видов замедляется на 50% при концентрации фторида натрия 30 мг/кг. Среднюю чувствительность к действию фторида проявляют виды *T. koningii*, *P. velutinum*, *P. funiculosum* и *Pseudomonas* sp. Порог их толерантности к фториду составляет от 100-150 мг/кг F⁻. Самыми устойчивыми из выявленных культур оказались *Penicillium* sp., *Bacillus* sp., *Bacillus megaterium*, линейный рост колоний, которых снижается на 50% при концентрации фторида, равной 350; 400 и 430 мг/кг соответственно.

При изучении влияния фторид иона на биомассу почвенного микробоценоза отмечено, что биомасса почвенных микроорганизмов достоверно изменяется от концентрации вносимого в среду фторид иона. При концентрации фторид иона 10 мг/л биомасса актиномицетов уменьшилась в 2.5 раза по сравнению с контролем. Внесение фторида в концентрации (50-250мг/л) достаточно сильно подавляло развитие большинства микромицетов (табл. 8).

Таблица 8

Влияние фторид иона на биомассу почвенной микробиоты

Культура	Концентрация NaF, мг/л							
	0	10	25	50	100	250	500	1000
	Биомасса, мг							
<i>Penicillium</i> sp.	243± 21.8	245± 18.1	340± 33.2	243± 21.7	200± 16.3	180± 10.8	120± 18.2	–
<i>Penicillium funiculosum</i>	220± 24.4	200± 11.5	186± 15.8	180± 15.5	148± 16.8	90± 13.8	56± 8.4	–
<i>Trichoderma koningii</i>	195± 11.4	170± 14.8	156± 10.3	120± 9.0	100± 11.3	56± 10.1	–	–
<i>Penicillium velutinum</i>	190± 11.3	182± 30.5	167± 18	140± 9.6	125± 12.7	–	–	–
<i>Trichoderma viride</i>	250± 18.3	156± 10.1	100± 11.2	–	–	–	–	–
<i>Mucor</i> sp.	186± 15.8	75± 7.0	62± 12.1	–	–	–	–	–
<i>Rhizopus</i> sp.	170± 15.1	130± 15.7	68± 14.3	–	–	–	–	–
<i>Alternaria</i> sp.	240± 30	160± 14.4	90± 16.3	–	–	–	–	–
<i>Streptomyces</i> sp.	150± 9.8	60± 9.1	–	–	–	–	–	–
<i>Bacillus</i> sp.	140± 13.8	144± 14	150± 28	167± 18.5	130± 9.2	96± 13.5	60± 9.1	–
<i>Bacillus megaterium</i>	128± 9.1	132± 16.5	140± 16.3	164± 10.5	127± 15.6	100± 16.6	59± 13.2	–
<i>Pseudomonas</i> sp.	120± 8.8	110± 14.3	80± 10.4	76± 13.7	55± 19.9	–	–	–
<i>Aspergillus niger</i>	–	–	–	–	110± 14.6	72± 11.7	–	–
<i>Aspergillus flavus</i>	–	–	–	–	126± 16.1	80± 12	–	–

Примечание:

«–» – рост не обнаружен

Из таблицы 8 видно, что микроскопические грибы р. *Penicillium* способны развиваться в присутствии высоких концентраций фторида натрия. Самым устойчивым из всех исследованных видов микроскопических грибов является *Penicillium* sp.: при концентрации фторида 25 мг/л его биомасса увеличивается в 1.4 раза, а при концентрации 50 мг/л F⁻ она равна контролю.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что менее уязвимыми к действию фторида являются спорообразующие бактерии р. *Bacillus*. При концентрации иона фтора 25-50 мг/л отмечается достоверное увеличение их биомассы в среднем в 1.2 раза. Аналогичная закономерность отмечается некоторыми авторами (Н.Н. Наплековой, 2008) при действии тяжелых металлов, которые в низких

концентрациях могут стимулировать рост спорообразующих бактерий. При последующем увеличении концентрации спорообразующие бактерии хотя и испытывают токсическое действие фторид аниона, но способны развиваться и сохранять жизнеспособность в среде, содержащей высокие дозы фторида.

По результатам модельного эксперимента установлено, что минимально действующей концентрацией фторид иона для серой лесной почвы, до которой не происходит нарушений видового состава, и структуры микробного сообщества, является концентрация F⁻ 10 мг/кг. Дальнейшее повышение уровня загрязнения фторидами серой лесной почвы ведет к заметному снижению численности почвенной микробиоты, элиминированию роста и обеднению видового разнообразия микробного сообщества.

По устойчивости к фториду почвенную микробиоту можно расположить в следующий убывающий ряд: спорообразующие бактерии > микроскопические грибы > аспорогенные бактерии > актиномицеты. Наиболее показательными тестами на загрязнение почв фторид ионом оказались: доминирование в загрязненных почвах представителей р. *Penicillium*, а также многочисленных бактериальных штаммов р. *Bacillus*. Актиномицеты, как наиболее чутко реагирующие на внесение фторида в почву резким снижением численности, биомассы и угнетением роста можно рекомендовать к использованию в биоиндикационных целях.

Влияние фторид иона на целлюлазную активность почвенной микробиоты

Токсичность фторидов для почвенных микроорганизмов можно оценить по их физиологической активности, в том числе по их способности к синтезу ферментов. Объективным показателем функционального состояния микрофлоры при загрязнении почвы экотоксикантами может являться целлюлазная активность почвенной микробиоты.

Анализ общей целлюлазной активности микроорганизмов, выделенных из почв модельного эксперимента, показал прямую зависимость между концентрацией фторид иона в питательной среде и активностью микробиоты (табл. 9).

Таблица 9

Влияние фторид иона на общую целлюлазную активность почвенных микроорганизмов

Культура	F ⁻ , мг/л							
	0	10	25	50	100	250	500	1000
<i>Penicillium funiculosum</i>	0.63± 0.11	0.0093± 0.002	0.0074± 0.0007	0.046± 0.007	0.046± 0.005	0.0037± 0.0008	0	–
<i>Penicillium</i> sp.	0.65± 0.064	0.0111± 0.0008	0.0046± 0.0009	0.0046± 0.0006	0.0046± 0.0008	0	0	–
<i>Trichoderma koningii</i>	0.75± 0.17	0.0093± 0.001	0.0046± 0.0005	0.0009± 0.0002	0	0	–	–
<i>Penicillium velutinum</i>	0.58± 0.06	0.0065± 0.01	0.0009± 0.0002	0	0	–	–	–
<i>Alternaria</i> sp.	0.245± 0.017	0.018± 0.005	0.009± 0.002	0	–	–	–	–
<i>Rhizopus</i> sp.	0.016± 0.005	0.013± 0.004	0.011± 0.004	0	–	–	–	–
<i>Trichoderma viride</i>	0.88± 0.13	0.0093± 0.02	0	–	–	–	–	–
<i>Mucor</i> sp.	0.025± 0.009	0.0046± 0.011	0	–	–	–	–	–
<i>Aspergillus niger</i>	–	–	–	–	0.013± 0.003	0	–	–
<i>Aspergillus flavus</i>	–	–	–	–	0.0046± 0.0007	0.08± 0.03	–	–
<i>Streptomyces</i> sp.	0.16± 0.07	0.0009± 0.0004	–	–	–	–	–	–

Примечание:

«–» – рост не обнаружен

Данные таблицы 9 свидетельствуют о том, что даже относительно низкие концентрации фторид иона (10-25 мг/л) достаточно сильно угнетали целлюлазную активность большинства микроорганизмов. Так у *Trichoderma viride* при концентрации фторида 10 мг/л произошло снижение общей целлюлазной активности в 95 раз по сравнению с контролем.

Наиболее существенное снижение целлюлазной активности было отмечено у *Streptomyces* sp.

При концентрации иона фтора 10 мг/л целлюлазная активность актиномицета снижается в 178 раз.

Вид *Trichoderma koningii* проявляет, активность целлюлазы до концентрации фторида 50 мг/л последующее увеличение концентрации фторид иона приводит, к полному подавлению целлюлазной активности данного микромицета. Среди всех исследуемых культур наибольшую устойчивость к фторидам проявляют представители р. *Penicillium*. Так культуры *Penicillium* sp. и *Penicillium funiculosum* способны продуцировать целлюлазы при достаточно высоких концентрациях в среде фторид ионов (100-250 мг/л).

Концентрация фторида 250 мг/л является критическим уровнем. При концентрации фторид иона 500 мг/л целлюлолитическая активность не обнаружена ни у одного из представителей почвенной микробиоты, что свидетельствует о явном токсическом действии фторида на целлюлазную активность микроорганизмов.

Проведенное исследование свидетельствует о том, что фториды оказывают угнетающее действие на целлюлазную активность почвенной микробиоты. Снижение целлюлазной активности микроорганизмов под влиянием ионов фтора позволяет констатировать возможность существенного замедления распада целлюлозы в почве, загрязненной фторидами. Это, естественно, приведет к изменению направленности круговорота углерода в природе, так как низкая активность фермента целлюлазы обуславливает слабую скорость разложения органического вещества почв.

Проведенные исследования позволяют заключить, что изменения в составе микробных сообществ и снижение целлюлазной активности почвенной микробиоты отмечаются с концентрации фторида 10 мг/кг, эти показатели могут быть использованы для разработки региональных нормативов содержания водорастворимых фторидов в почве.

Таким образом, результаты серии лабораторных экспериментов свидетельствуют о том, что исследуемые показатели почвенной микробиоты дают объемную информацию об экологическом состоянии почв, поэтому их целесообразно рекомендовать для оценки качества наземных экосистем в районе предприятий цветной металлургии.

Эколого-токсикологическая оценка качества картофеля, выращиваемого на территориях, сопредельных с ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ»

В промышленно развитых регионах России значительные площади почв сельскохозяйственного назначения находятся в зоне загрязнения аэропромвыбросами промышленных предприятий и в этой связи необходимо контролировать экологическую ситуацию в местах возделывания сельскохозяйственных культур. В Иркутской области не уделяется достаточного внимания показателям безопасности растениеводческой продукции, поступающей на рынок из зоны влияния промышленных предприятий.

Учитывая специфику производства ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ» во многом определяющего экологическую обстановку города Шелехова становится очевидной необходимость исследования содержания тяжелых металлов и фторидов в овощных культурах, выращиваемых на территориях сопредельных с предприятием.

С целью выявления способности тяжелых металлов и фторидов, содержащихся в почве, накапливаться в овощных культурах, нами проведено обследование выращенного на территории Шелеховского района картофеля, поскольку картофель является наиболее типичной овощной культурой, выращиваемой как в промышленных масштабах, так и на приусадебных участках.

Валовое содержание тяжелых металлов в образцах почв и картофеля приведено в таблицах 10, 11.

Таблица 10

Среднее содержание тяжелых металлов в почвах, находящихся на различном расстоянии от аэропромвыбросов алюминиевого производства

Место отбора проб		Тяжелые металлы мг/кг (валовые формы)				
Населенный пункт	Расстояние от предприятия, км	Zn	Cd	Ni	Pb	Cu
с. Баклаши	8	29.1±1.95	0.25±0.05	15.6±1.78	10.6±1.21	12.78±0.5
п. Олха	5	60.0±2.83	0.44±0.12	22.7±1.75	11.60±1.23	13.42±0.42
п. Марково	15	30.3±2.4	0.22±0.09	20.5±2.0	11.28±0.47	13.36±0.59
п. Б. луг	25	15.8±1.78	0.18±0.05	10.5±1.88	8.66±0.48	12.5±1.78
Региональный фон		60	0.20	32	20	22.9

Примечание:

* - жирным шрифтом выделены показатели, превышающие ПДК

Из данных, представленных в таблице 10 видно, что для большинства тяжелых металлов превышений регионального фона не обнаружено за исключением кадмия в районах, расположенных наиболее близко к эпицентру воздействия (п.Олха, с. Баклаши и п. Марково).

Оценку уровня химического загрязнения почв, определяли по суммарному показателю загрязнения (Z_c) (Сагет, 1991). Данный критерий показал, что почвы, находящиеся в 5 и 8 км от предприятия являются умеренно загрязненными - $Z_c > 4$. Почвы, находящиеся в 15 и 25 км от эпицентра воздействия по ориентировочной оценочной шкале опасности относятся к категории «допустимое загрязнение» - $Z_c < 4$.

Для выявления способности тяжелых металлов, содержащихся в почве, накапливаться в овощных культурах, определяли валовое содержание тяжелых металлов в образцах картофеля, выращенного на территориях, подверженных влиянию алюминиевого производства. Результаты исследований представлены в таблице 11.

Таблица 11

Среднее содержание тяжелых металлов в картофеле, выращенном на приусадебных участках, расположенных в зоне влияния ОАО «ИрАЗ-РУСАЛ»

Место отбора проб		Тяжелые металлы мг/кг (валовые формы)				
Населенный пункт	Расстояние от предприятия, км	Zn	Cd	Ni	Pb	Cu
с. Баклаши	8	9.3±0.7	0.32±0.03*	0.84 ±0.14	0.47±0.19	9.62±1.2
п. Олха	5	8.6±1.2	0.24±0.06	0.89±0.32	0.5±0.22	9.48±0.31
п. Марково	15	6.3±0.5	0.08±0.005	0.52 ±0.11	0.43±0.15	8.36±1.24
п. Б. луг	25	4.1±0.8	0.03±0.001	0.48±0.20	0.4±0.12	8.1±0.9
ПДК		10	0.03	0.5	0.5	10

Примечание:

* - жирным шрифтом выделены показатели, превышающие ПДК

Результаты исследований свидетельствуют, что в целом наблюдается закономерное снижение количества тяжелых металлов в продукции по мере удаления от источника воздействия. Во всех образцах среднее содержание цинка, свинца и меди не нарушает нормативы ПДК. Однако по кадмию и никелю санитарно-гигиенические нормативы превышены на трех пробных площадках, расположенных наиболее близко к источнику воздействия.

Причем, если для никеля превышение не столь значительно – максимальное значение коэффициента концентрации (K_c) не более 1,8 (п. Олха), то для кадмия он достигает 8,0 (п. Олха) и 10,7 (с. Баклаши). Вероятно, высокий уровень накопления кадмия в картофеле определяется технологическими особенностями алюминиевого производства (электролиз глинозема) и потребление подобной сельскохозяйственной продукции небезопасно по медико-биологическим показателям.

Статистический анализ по непараметрическому F критерию показал достоверную связь между содержанием поллютантов в почвах и образцах картофеля только для кадмия. Для остальных металлов взаимосвязь концентраций менее достоверна (при $P > 0.05$).

Результаты исследований по определению фторидов в образцах почв и картофеля представлены на рисунке 7.

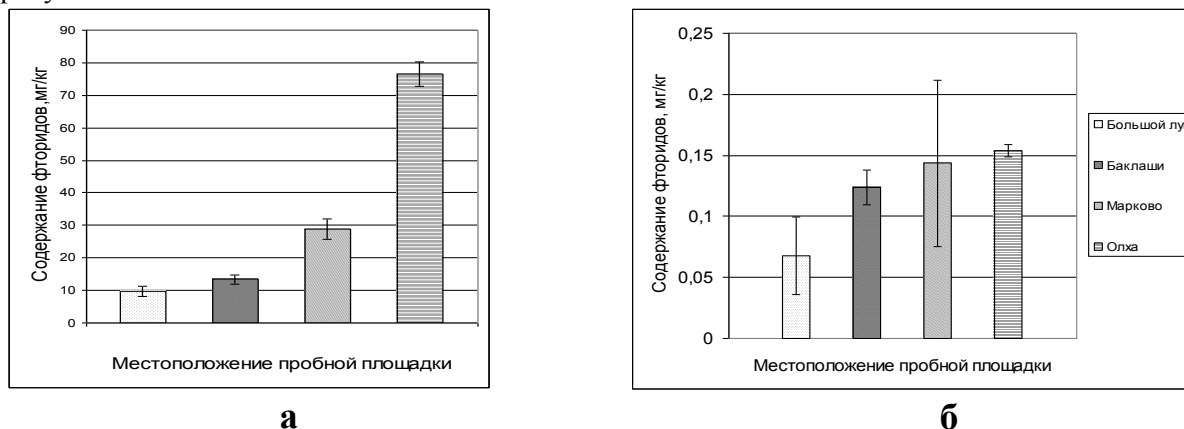


Рис.7. Содержание фторидов в почвах пробных площадок (а) и в образцах картофеля (б).

Из полученных данных следует, что во всех исследованных образцах картофеля прослеживается тенденция техногенного накопления фторидов (рис.7, б), которое достоверно зависит от уровня загрязнения почв (рис. 7, а); однако концентрация поллютанта в продукции не превышает санитарно-гигиенических нормативов.

Коэффициент биологического поглощения, который определяли соотношением содержания элемента в сухой биомассе растений к содержанию его в почве во всех образцах картофеля значительно меньше 1 (рис.8).

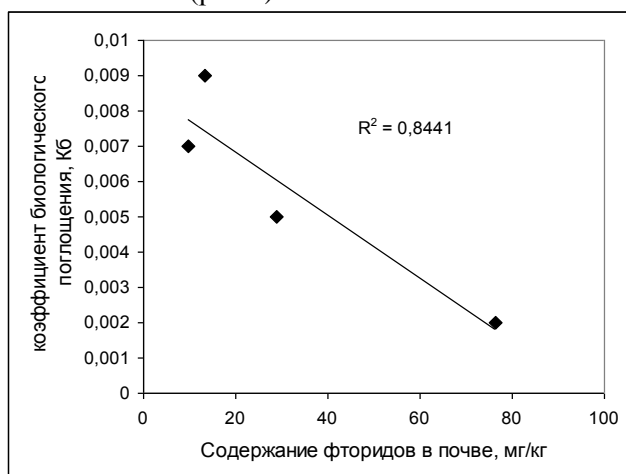


Рис.8. Зависимость коэффициента поглощения фторидов в картофеле от их концентрации в почвах пробных площадок.

Незначительное содержание фторидов в картофеле в сравнении с почвой обусловлено слабой величиной их биологического поглощения и низкой подвижностью в почвах (Помазкина и др., 2008).

Результаты проведенных исследований показали, что в урожае картофеля, возделываемого на садово-огородных почвах, находящихся в 5; 8 и 15 км от алюминиевого производства концентрация тяжелых металлов Cd и Ni не соответствует санитарно-гигиеническим нормативам. Данный факт требует повышенного внимания Роспотребнадзора к продукции производимой на данной территории.

Выводы

1. Проведенные исследования показали, что под действием аэропромвыбросов алюминиевого завода изменяются химические свойства почв. К общим изменениям относятся: увеличение pH (в среднем на 1,3 единицы), насыщенность почвенного поглощающего комплекса основаниями, снижение содержания биогенных элементов и гумуса, что свидетельствует об ухудшении буферных свойств почв по мере приближения к источнику воздействия.
2. Установлено, что почвы, расположенные в районе предприятия загрязнены компонентами аэропромвыбросов ОАО «ИркАЗ-РУСАЛ»: фторидами и тяжелыми металлами. Максимальное накопление фторидов выявлено вблизи предприятия (0,5-5 км), что превышает ПДК в 4 и 7 раз и составляет (48,8; 76,5 мг/кг). На том же расстоянии показано превышение нормативов ПДК для Cd (K_c кадмия составляет 1,8; 2,2).
3. Градиент физико-химических показателей почв вдоль оси факела выброса отражается на структуре микробного сообщества. В сообществах микромицетов по мере приближения к источнику воздействия увеличивается доля видов-редуцентов растительных остатков: отношение числа этих видов к общему числу видов составило 5/8, 5/7, 5/6, 1/1. Актиномицеты обнаружены только на расстоянии 25 км от факела аэропромвыбросов. Изменение структуры бактериальных сообществ (до уровня рода) не выявлено. Во всех сообществах доминируют бактерии р. *Bacillus*, которые составляют 85 % от общего числа бактериальных штаммов. Показанные изменения видовой структуры микробных сообществ можно использовать в качестве критериев экологического состояния почв, подверженных техногенному воздействию.
4. Изучение влияния фторид иона в модельных экспериментах на почвенное микробное сообщество, показало, что по отношению к фторид иону исследуемые микроорганизмы можно разделить на 4 группы: абсолютно не резистентные виды, средне чувствительные, резистентные и высоко резистентные виды с пределом резистентности 25; 100; 250 и 500 мг/кг соответственно.
5. Исследование целлюлазной активности микроорганизмов в условиях модельного эксперимента показало, что при концентрации фторида 10 мг/л целлюлазная активность абсолютно не

резистентных видов снижается в 95-178 раз в зависимости от культуры. У средне чувствительных видов в 80-89 раз, а у резистентных в 58-67 раз по сравнению с контролем.

6. С помощью непараметрического F критерия установлена прямая зависимость загрязнения почвы и картофеля Cd ($F=7,7$). Во всех образцах картофеля прослеживается тенденция техногенного накопления фторидов, которое достоверно зависит от уровня загрязнения почв, однако концентрация поллютанта в продукции не превышает санитарно-гигиенических нормативов. Незначительное содержание фторидов в картофеле в сравнении с почвой обусловлено слабой величиной их биологического поглощения ($K_6 < 1$).

Список публикаций

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Берсенева О.А.** О некоторых особенностях современного состояния почв и почвенной микобиоты в районе аэровыбросов Иркутского алюминиевого завода (ОАО «ИрКАЗ-РУСАЛ») / О.А. Берсенева, В.П. Саловарова // Вестник РУДН.-2009.№3.-с.5-9.
2. **Берсенева О.А.** Видовая структура почвенных микоценозов в серых лесных почвах Прибайкалья, подверженных воздействию аэропромвыбросов алюминиевого производства / О.А. Берсенева, В.П. Саловарова, А.А. Приставка, В.А. Мелентьев // Вестник РУДН.-2010.№1.-с.24-29.

Статьи в других изданиях:

1. **Берсенева О.А.** Почвенные микромицеты основных природных зон / О.А. Берсенева, В.П. Саловарова, А.А. Приставка // Известия Иркутского государственного университета.-2008.№1.-с.3-9.
2. **Берсенева О.А.** Влияние фторидов на функционирование почвенного микробного сообщества / О.А. Берсенева, В.П. Саловарова, А.А. Приставка // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.-2010.№10.-с.10.

Тезисы конференций

1. **Berseneva O.A.** The influence of emissions of Irkutsk Aluminium Plant on soil microcenoses / O.A. Berseneva, V.P. Salovarova, A.A. Pristavka, L.I. Ovchinnikova // Materials of III International young scientists conference «Biodiversity. Ecology. Adaptation. Evolution., Odessa, 2007, с.271.
2. **Берсенева О.А.** Использование почвенных микромицетов-редуцентов растительных полимеров для оценки состояния наземных биоценозов // Материалы регионального научно-практического семинара «Достижения современной биотехнологии в решении эколого-биотехнологических проблем», Иркутск, 2007, с.13-18.
3. Саловарова В.П. Влияние выбросов предприятий цветной металлургии на продуктивность агроценозов, опосредованное почвенными микромицетами / В.П. Саловарова, **О.А. Берсенева**, А.А. Приставка, Л.И. Овчинникова // Материалы Всероссийской конференции молодых ученых «Экология в современном мире: Взгляд научной молодежи», Улан-Удэ, 2007, с.305.
4. Саловарова В.П. Возможности получения экологически безопасной сельскохозяйственной продукции в условиях загрязнения агроценозов / В.П. Саловарова, **О.А. Берсенева**, А.А. Приставка // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию Российского университета кооперации «Управление торговлей: теория, практика, инновации», Москва, 2008, с.296.
5. Саловарова В.П. Использование ПЦР-диагностики для детекции генетически модифицированных источников и микроорганизмов в анализируемых образцах пищевой продукции / В.П. Саловарова, В.А. Мелентьев, А.А. Приставка, Г.Ю. Юринова, **О.А. Берсенева** // 3-я Всероссийская заочная научно-практическая конференция «Региональный рынок потребительских товаров: особенности и перспективы развития, качество и безопасность товаров и услуг», Тюмень, 2009, с. 264-267.
6. **Берсенева О.А.** Микробиологический мониторинг наземных экосистем как залог производства экологически безопасной сельскохозяйственной продукции / О.А. Берсенева, В.П. Саловарова // Материалы VII региональной научно-практической конференции молодых ученых Иркутск, 2007,с.10-12.
7. **Берсенева О.А.** Микробиологический мониторинг наземных экосистем в районе предприятий алюминиевой промышленности / О.А. Берсенева, В.П. Саловарова, А.А. Приставка //Материалы Всероссийской молодежной научно-технической конференции «Молодые ученые Сибири»,

Улан-Удэ, 2008, с.164-167.

8. **Берсенева О.А.** Проблемы накопления поллютантов на территориях, подверженных влиянию алюминиевого производства (на примере «ИрАЗ-РУСАЛ») и показатели безопасности овощных культур / О.А. Берсенева, А.А. Приставка, В.П. Саловарова // I Всероссийская научно-практическая конференция «Биотехнология в интересах экологии и экономики Сибири и Дальнего Востока», Улан-Удэ, 2010, с. 88-91.

Учебное пособие

1. Саловарова В.П. Введение в биохимическую экологию: учеб. пособие / В.П. Саловарова, А.А. Приставка, **О.А. Берсенева.** - Иркутск: Изд-во ИГУ, 2007.-159с.

Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю доктору биологических наук, профессору В.П. Саловаровой за постоянное внимание, ценные советы и рекомендации на всех этапах исследований. Автор благодарит к.б.н. А.А. Приставку за советы, помощь в организации исследований и в работе над диссертацией, к.б.н. Н.Л. Белькову и к.б.н. И.В. Клименкова за полезные предложения и консультации, а также сотрудников кафедры физико-химической биологии за поддержку и ценные советы.