

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
ФАКУЛЬТЕТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

На правах рукописи

Каниськин Максим Александрович

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ И ПОЧВОГРУНТОВ,
ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ ФОСФОГИПСА**

Специальность: 03.02.08– экология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук



Москва – 2011

Работа выполнена на кафедре земельных ресурсов и оценки почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель:

доктор биологических наук

Терехова Вера Александровна

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук

Ананьева Надежда Дмитриевна

кандидат биологических наук

Завгородняя Юлия Анатольевна

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный университет.

Защита состоится **25 октября 2011 г. в 15³⁰** в аудитории М-2 на заседании диссертационного совета Д 501.001.57 при МГУ имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова.

Автореферат разослан **«23» сентября 2011 г.**

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просьба направлять по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения. Факс: (495) 939-29-47, (495) 939-21-47.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А. С. Никифорова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Постоянно пополняющиеся отвалы отходов промышленной переработки природного сырья принимают масштабы, угрожающие устойчивому функционированию биоценозов. Одним из видов многотоннажных отходов является фосфогипс (ФГ) – побочный продукт производства экстракционной фосфорной кислоты, получаемой при разложении фосфатного сырья или апатитового концентрата смесью серной и фосфорной кислот дигидратным способом. Фосфогипс находит разностороннее применение в сельском хозяйстве, строительстве, целлюлозно-бумажной промышленности (Борисов, 1983; Иваницкий и др., 1986; Фосфогипс..., 1990; Smadi et al., 1999; Singh, 2002 и др.). Наличие в нем таких важных элементов питания растений, как кальций, фосфор, сера, делают ФГ привлекательным в качестве удобрения. Используют ФГ и в качестве мелиоранта почв солонцовых комплексов (Рашковский и др., 1989; Рекомендации ..., 2006 и др.).

Однако влияние ФГ, содержащего наряду с основным компонентом (гипсом) большое количество примесей в форме соединений стабильного стронция, фтора, кадмия и других (в том числе, и редкоземельных) элементов, а также остатков серной и фосфорной кислот, на экологическое состояние почв исследовано недостаточно (Любимова, Борисочкина, 2007; Carvalho, Raij, 1997; Free et al., 1998; Elbaz-Poulichet et al., 2001; Lee et al., 2004 и др.).

Современная концепция экологического нормирования вредных воздействий предполагает реализацию интегрального подхода, основанного на сочетании химических и биологических методов анализа. Биотическим показателям в экологической оценке природных сред в последнее время придается особое значение (Левич, 1980; Воробейчик и др., 1994; Терехова, 2004; Опекунов, 2006; Cairns, 2005 и др.). Факторы среды, воздействующие на живые организмы разных трофических уровней, оценивают биоиндикационными методами в природных условиях (*in situ*), и биотестированием образцов в лабораторных условиях (*ex situ*) по реакции стандартизованных тест-культур (Филенко, 1988; Воробейчик и др., 1994; Терехова, 2003; Chapman 1990; Cairns, 2005; Persoone et al., 2005; Linkov, 2010 и др.). Использование такого комплексного подхода представляется целесообразным при изучении влияния фосфогипса на почвенные ценозы, а также при определении допустимых норм его содержания и возможных мер снижения негативного воздействия с помощью гуминовых препаратов (Орлов, 1993; Чуков, 2001; и др.).

Цель работы заключалась в экологической оценке почв и почвогрунтов, подверженных воздействию фосфогипса.

Задачи:

1. охарактеризовать экологическое состояние почв территории, прилегающей к объекту размещения отходов фосфогипса;
2. исследовать влияние фосфогипса на содержание некоторых потенциально опасных примесей в почвогрунте;
3. проанализировать влияние фосфогипса на тест-функции организмов основных трофических уровней и биоиндикационные показатели почвенной микробиоты; выявить предел допустимого для живых организмов содержания фосфогипса в почвогрунте;
4. рассмотреть возможность применения гуминовых препаратов для снижения неблагоприятного воздействия фосфогипса.

Научная новизна работы. Выявлена неоднозначная реакция на фосфогипс организмов разных трофических уровней, установлены факторы, влияющие на биоразнообразие почвенных микроорганизмов. Основываясь на современной (биотической) концепции экологического контроля рассчитан индекс нарушенности экологического состояния почв, отражающий степень влияния отходов фосфогипса на биоту.

Личный вклад автора. Все этапы работы были проведены лично автором или при его непосредственном участии: постановка модельного эксперимента, отбор и анализ образцов почв и модельного почвогрунта, обработка полученных результатов. Автором рассчитан индекс нарушенности экологических свойств почв ($I_{НЭС}$) под воздействием фосфогипса.

Практическая значимость работы. Определен набор химических и биотических показателей, который может быть рекомендован для включения в систему мониторинга качества почв при оценке воздействия фосфогипса. Для стандартного почвогрунта (согласно ИСО 11268-1) установлено, что безвредным для биоты является содержание ФГ < 2,0% (по массе). Результаты исследования учтены Департаментом природопользования и охраны окружающей среды Правительства г. Москвы при разработке рекомендаций по оптимизации состава искусственных почвогрунтов, использованы в отчете о НИР по оценке влияния отходов фосфогипса на окружающую среду, используются при чтении лекционного курса для студентов «Биодиагностика и экологическая оценка».

Участие в проектах и НИР. Исследования проводились при поддержке программы Президиума РАН «Биологическое разнообразие», а также в рамках ГК №14.740.11.0796 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», ГК № Н1/08 от 18.04.09 «Оценка влияния повышенных доз подвижных форм фосфора и калия на различные компоненты городской экосистемы» и договора №108-

АГ/05 от 03.10.2005 «Оценка степени возможного вредного воздействия на окружающую природную среду при непосредственном или опосредованном воздействии фосфогипса ОАО «Воскресенские минеральные удобрения»».

Апробация работы. Результаты исследования представлены и обсуждены на конференциях «Почвоведение и агрохимия в XXI веке» (Санкт-Петербург, 2006), «Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно - преобразованных экосистем» (Иркутск, 2006), «Ломоносов-2008, 2009, 2010» (Москва), 14th International Meeting of the International Humic Substances Society (IHSS) (Moscow–St.Petersburg, 2008), «Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития» (Киров, 2009), 17th International Conference on Environmental Bioindicators: Global Indicators (Moscow, 2009), «Экологическое нормирование, сертификация и паспортизация почв как научная основа рационального землепользования» (Москва, 2010), Europe 21st Annual Meeting Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), (Milan, 2011), на заседаниях и научных семинарах кафедры земельных ресурсов и оценки почв факультета почвоведения МГУ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация включает введение, обзор литературы, экспериментальную часть, выводы и заключение. Материалы диссертации изложены на **130** страницах машинописного текста, содержат **15** рисунков, **19** таблиц. Список литературы включает **206** источников, из них **70** зарубежные.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю д.б.н. Тереховой В.А. за ценные советы и рекомендации на всех этапах исследования. Особую благодарность автор выражает сотрудникам ЛЭТАП и кафедры земельных ресурсов и оценки почв факультета почвоведения МГУ и лично зав. каф., проф. Яковлеву А.С., а также д.б.н. Верховцевой Н.В., д.б.н. Лысак Л.В., к.б.н. Горленко А.С., к.б.н. Семеновой Т.А., Домашневу Д.Б. за помощь в организации исследования и проведении анализов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1.Современные подходы к экологическому нормированию почв при химическом загрязнении (обзор литературы)

В главе рассмотрено современное состояние проблемы экологической оценки и нормирования вредных воздействий, а также подходы к экологической оценке качества почв и почвогрунтов. Изложен зарубежный и отечественный опыт и методологические аспекты формирования систем санитарно-гигиенического и экологического (экосистемного) нормирования (Добровольский, Никитин, 1990, 2000.; Воробейчик и

др., 1994 и др.). Приводятся схемы экологического мониторинга природных объектов, нашедшие практическое применение (Израэль, 1976, Воробейчик и др., 1994; Мотузова 2000, Макаров, 2002; Герасимова и др., 2003; Яковлев и др., 2010; Chapman 1990; Cairns, 2005, Dagnino et al., 2008; Linkov, 2010 и др.). Рассмотрены критерии выбора биотических показателей при оценке негативного воздействия на экосистемы (Виноградский, 1952; Левич, 1980; Умаров, 1986; Звягинцев, 1987; Гузев, Левин, 1991; Круглов, 1991; Марфенина, 1994; Добровольская, 2002; Ананьева, 2003; Заварзин, 2003; Терехова, 2004; Кожевин 2006; Kenega, 1978; Cairns, 2005 и др.).

Даны общие сведения о фосфогипсе, рассмотрены способы его использования и влияние на окружающую среду (Марказен, 1986; Фосфогипс..., 1990; Влияние..., 1997; Плышевский, 2001; Degirmenci et al., 2006; Pe´rez-Lo´pez et al., 2007; Tayibi et al., 2009; Al-Hwaiti et al., 2010; Vyshpolsky et al., 2010; Hurtado et al., 2011).

Заключительная часть посвящена проблеме ремедиации нарушенных почв, опыту и области применения гуминовых веществ (Орлов, 1990; Гуминовые..., 1993, Чуков, 2001; Куликова, 2008; Insam, 1996; Halim et al., 2003; Perminova et al., 2006; Si et al., 2006; Janoř et al., 2010).

Глава 2. Материалы и методы исследования

Исследования проводились *в натуральных условиях* (на пробных площадках, расположенных по градиенту удаленности от объекта размещения отходов фосфогипса), *в лабораторно-вегетационных и лабораторных экспериментах*.

1. Материалом исследования служили образцы почв, модельного почвогрунта (МПГ) с разным содержанием фосфогипса (ФГ), растения, произраставшие на исследуемых почвах и почвогрунтах, а также образцы растительного субстрата (листья липы), экспонировавшиеся на пробных площадках в районе объекта размещения отходов (ОРО) фосфогипса.

Почвы исследовали на территории Воскресенского района Московской области вблизи отвалов фосфогипса – ОРО №2 предприятия «Воскресенские минеральные удобрения» (рис.1). Пробные площадки, площадью 100 м² (10×10 м) были заложены на разном расстоянии от отвалов, в трех зонах, различающихся по состоянию растительного покрова, условно обозначенных нами как «*импактная*» (1), «*буферная*» (2) и «*фоновая*» (3):

1. «импактная» – территория, ограниченная обводной канавой ОРО, вплотную прилегающая к склону отвала фосфогипса; почвы - хемо-технозем (Антропогенные почвы..., 2003); основной источник загрязнения - стоки с поверхности хранилища; в верхней части почвенного профиля содержится горизонт **D_{cs}** мощностью 10 см. В подросте доминирует *Betula pendula* и *Populus tremula*, в травяном ярусе доминирует (80%) разнотравно-злаковое сообщество;

2. «буферная» – территория, расположенная за обводной канавой на расстоянии 300-400 м от ОРО; почвы – технозем (Антропогенные почвы..., 2003); основной источник загрязнения - газопылевые эмиссии с поверхности отвала; содержание гипса в поверхностном слое почвы достигает 1,24%. Растительность неоднородна, в подросте доминирует *Betula pendula*, травяная растительность разрежена;

3. «фоновая» – территория, предположительно не испытывающая влияния объекта размещения отходов, расположенная в трех километрах от ОРО на восток; почвы - дерново-подзолистые глееватые суглинистые на флювиогляциальных отложениях (Классификация ..., 2004). В древесном ярусе доминирует *Pinus sylvestris*, в подросте - *Corylus avellana*, в травяном ярусе - *Poa nemoralis* + *Aegopodium podagraria*.

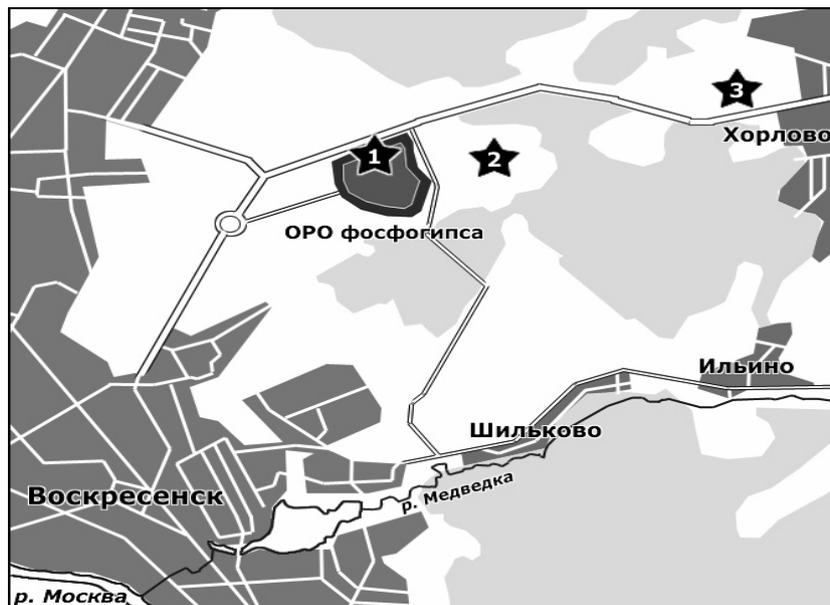


Рис. 1. Карта-схема района исследований и расположения пробных площадок. Цифрами обозначены площадки по градиенту удаления от объекта размещения отходов фосфогипса: 1 – «импактная», 2 - «буферная», 3 - «фоновая»

Главными дестабилизирующими факторами воздействия сухих отвалов фосфогипса являются газопылевые эмиссии и стоки с поверхности хранилища фосфогипса. Для склонов отвалов значительную роль в переносе веществ играет водная миграция, в то время, как для верхней части отвалов фосфогипса наиболее характерен ветровой перенос веществ. В районах размещения полигонов фосфогипса наблюдается эмиссия диоксида серы, фтористых соединений, фосфатов, сульфатов.

Модельный растительный субстрат представлял собой листья липы сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.), которыми заполняли сетчатые нейлоновые мешочки (размер 10*10 см, диаметр отверстий около 2 мм) и экспонировали на пробных площадках с целью определения потери веса субстрата по ходу экспозиции.

Модельный почвенный грунт (МПГ) был изготовлен в соответствии с международным стандартом ИСО 11268-1 промышленным способом на

специализированном оборудовании ООО «Биогрунт». Состав МПГ: каолин - 20%; переходный торф - 10%, строительный песок с размером частиц 0,2-0,4 мм - 70%. Почвогрунт такого состава применяется для разработки регламентов предельного содержания вредных веществ, в частности, предельно допустимых концентраций пестицидов, а также для анализа или сравнения почв под влиянием различных видов механической обработки (Фомин, Фомин, 2002). МПГ по основным свойствам значительно однороднее любой природной почвенной разности, что позволяет решить ряд важных проблем, возникающих обычно при проведении агрохимического опыта: минимизировать влияние неоднородности почвенного покрова; значительно повысить репрезентативность получаемых результатов; минимизировать зависимость результатов от истории участка.

Фосфогипс (ФГ), используемый в экспериментах, представлял собой продукт переработки фосфатного апатитового сырья (хибинского апатита Кировского месторождения). Исследовали семь разностей МПГ с содержанием фосфогипса – 0 (контроль); 1,1; 3,3; 7,5; 14,7; 25; 100 (% по массе).

Гуминовые препараты (ГП) применяли в целях снижения негативного влияния фосфогипса. Использовали промышленные гуматы калия и натрия, различающиеся по источнику получения, содержанию сухого вещества, зольности, элементному составу (табл. 1). Исследовали образцы МПГ с добавкой 0,005 и 0,020% сухого вещества ГП.

Таблица 1

Характеристика исследуемых гуминовых препаратов
(по данным Якименко О.С. и Изосимова А.А.)

Гуминовый препарат	Источник получения	Содержание сухого в-ва, %	Зольность, %	Содержание элементов в золе, % от сухого в-ва ГП			
				Na	K	Ca	Fe
Pe-FlexK	Торф	8,6	25,8	0,1	10,3	0,1	2,6
Pe-EcoK	Торф	2,0	34,1	0,2	16,5	0,5	3,6
BC-EnK	Уголь	8,6	45,4	0,1	13,5	0,1	1,5
BC-HumNa	Уголь	95,7	28,8	1,4	0,2	0,3	3,5
OW-LhK	Лигносультфонат	94,5	40,0	2,3	12,6	0,1	0,3

2. Методы. Применены методы химического анализа, биоиндикации и биотестирования.

Химические анализы включали определение pH водной вытяжки потенциометрическим методом, содержание фторид - и нитрат-ионов (в эксперименте с применением гуминовых препаратов) в водной вытяжке методом ионно-обменной хроматографии, подвижных соединений фосфора (ГОСТ 26205-91), подвижных форм Ca, Sr, Cu, Zn, Cd, Pb методом ААС в ацетатно-аммонийной вытяжке.

В полевых опытах исследовали динамику биондикационных показателей. Для сравнения пространственной (по градиенту удаления от ОРО) и сезонной (осень 2005г, весна и лето 2006г) динамики синэкологических характеристик почвенной биоты отбирали поверхностно-смешанные почвенные образцы с площадок «импактной», «буферной» и «фоновой» зон (горизонт 0-20 см). Отбор проб растительного субстрата и почв на исследуемых площадках осуществляли трижды. Всего проанализировано 27 образцов растительного опада и 45 почвенных образцов.

В вегетационных опытах исследовали влияние ФГ на сообщества микроорганизмов почвогрунта (МПГ) и рост растений в лотках (размер 13×37,5×6 см, 2 кг МПГ с разным содержанием фосфогипса). Биоиндикационные исследования проводили после экспозиции субстратов в открытых теплицах в течение 30 суток.

В образцах, отобранных в полевых и вегетационных опытах, исследовали следующие характеристики:

- *интенсивность почвенного дыхания*: по эмиссии CO₂ на газовом хроматографе 3700 с детектором по теплопроводности (Методы..., 1991);

- *структуру почвенных микромицетов*: методом посева почвенной суспензии на среду Чапека (Методы ..., 1982). Синэкологический анализ микромицетных комплексов проводили по общей численности колониеобразующих единиц, числу видов, доле устойчивых к неблагоприятным факторам темнопигментированных видов грибов, доле быстрорастущих видов, потребляющих легкодоступный органический субстрат, индексам разнообразия (по Шеннону, Пиелу);

- *биомассу спор (БС) и мицелия (БМ) почвенных микромицетов методом люминесцентной микроскопии*. Прямой учет спор и фрагментов мицелия грибов проводили при окрашивании препаратов суспензии почв на предметных стеклах флуорохромом *Fluorescent Brightener 28* (Методы ..., 1991);

- *структуру бактериального комплекса*: методом посева на глюкозо–пептонно-дрожжевую среду, с использованием критериев, разработанных на кафедре биологии почв (Лысак и др., 2003);

- *структуру сообщества микроорганизмов молекулярным методом газовой хроматографии – масс-спектрометрии (ГХ-МС)*. По химическим компонентам жирнокислотного состава клеточных стенок. Метод позволяет определять состав и структуру сообщества микроорганизмов, соотнося полученные результаты с доступным в онлайн-форме международным банком данных по этому показателю для бактерий, актиномицетов и микроскопических грибов (Верховцева, Осипов, 2008).

В лабораторных опытах оценивали экотоксичность МПГ с различным содержанием ФГ методами биотестирования. Использовали батарею тест-организмов разных трофических уровней (Табл. 2).

Таблица 2

Биотесты различных трофических уровней для оценки экотоксичности МПГ, содержащего фосфогипс

Тест-организмы		Тест-функции	Время анализа, ч	Значение NOEL
Уровень продуцентов	высшие растения <i>Sinapis alba</i>	энергия прорастания	96	$NOEL_{20}$
		длина корней	96	$NOEL_{20}$
	микроводоросли <i>Chlorella vulgaris</i>	оптическая плотность суспензии клеток	22	$NOEL_{20}$
	микроводоросли <i>Scenedesmus quadricauda</i>	изменение прироста численности клеток	72	$NOEL_{20}$
Уровень консументов	ракообразные <i>Daphnia magna</i>	выживаемость мальков	96	$NOEL_{10}$
	простейшие <i>Paramecium caudatum</i>	выживаемость особей	24	$NOEL_{10}$
	млекопитающие <i>Boa taurus</i>	изменение подвижности половых клеток	2	$NOEL_{20}$
Уровень редуцентов	бактерии <i>Escherichia coli</i>	изменение биолюминесценции	0,5	$NOEL_{20}$
	микровицеты <i>Fusarium oxysporum</i>	скорость радиального роста колоний	120	$NOEL_{20}$

Токсикометрические параметры рассчитывали с помощью пробит-анализа (Платонов, Ахалая, 2006). Полуэффективная доза - EC_{50} соответствовала такому содержанию ФГ, которое вызывало 50%-ное уменьшение исследуемого параметра по сравнению с контролем¹. Безвредная доза внесения ФГ - $NOEL$ (no observed effect level) определялась как максимальное содержание ФГ, не оказывающее токсического действия на тест-организмы.

Влияние гуминовых препаратов на повышение мелиоративных свойств ФГ оценивали методами биотестирования. Коэффициент детоксикации (D) рассчитывали по формуле (Куликова, 2008; Perminova et al, 2006):

$$D = \frac{T_T - T_{T+ГП}}{T_T} \quad (1)$$

Он отражает изменение уровня токсичности (T) по отношению к тест-культуре в присутствии ГП ($T_{T+ГП}$) по сравнению с токсичностью тех же образцов без добавления ГП (T_T). Положительное значение этого параметра свидетельствует об уменьшении токсического эффекта при внесении ГП, отрицательное – об увеличении токсичности с

¹ По аналогии EC_x - такое содержание ФГ, которое вызывает x %-ное уменьшение исследуемого параметра по сравнению с контролем

внесением ГП. При этом наиболее благоприятным для функционирования биоты будет значение близкое к 1 или больше.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием программ *MS Office, Statistica 6.0* и *ProbitAnalysis*.

Глава 3. Результаты и обсуждение

3.1. Влияние объекта размещения отходов фосфогипса на эколого-биологические свойства верхних горизонтов почв

Исследованы биоиндикационные показатели комплекса почвенных микромицетов, микробной активности и потери веса модельного растительного субстрата на площадках зон на разном удалении от ОРО фосфогипса через 1, 6 и 11 месяцев экспозиции (табл. 3). Результаты анализа грибных сообществ в почвах разных зон показали значительную вариабельность как интегральных (общая численность, доля темноокрашенных и быстрорастущих микромицетов), так и частных показателей видового разнообразия (число видов, индексы Шеннона и Пиелу), при этом различия между зонами были сопоставимы с сезонной изменчивостью. Рассчитанная средняя численность колониеобразующих единиц (КОЕ/г почвы) свидетельствует об умеренной заселенности исследуемых почв грибами. Менее вариабельными оказались показатели потери веса растительного субстрата, микробной активности и биомассы микромицетов.

При оценке возможности использования показателей биоиндикации и биологической активности для оценки влияния объектов размещения отходов фосфогипса на экологическое состояние почв прилегающей территории мы основывались на 2-х основных параметрах – это *информативность* показателя и его *чувствительность*.

- *Информативность* показателя - разнообразие ответов по тому или иному показателю. Показателем служит отношение дисперсий (DR-Dispersion ratio) биотических «откликов», межвариантных (средних значений параметра по зонам) к внутривариантным (значениям параметра внутри зоны в различные сезоны). Информативным считается параметр, DR которого > 1 (Воробейчик и др., 1994; Терехова, 2004).

- *Чувствительность* показателя – это степень снижения его значений по мере возрастания уровня загрязнения. Показателем служит величина SI (Sensitive Index):

$$SI = \frac{Y_{\min}(\text{Фон}) - Y_{\max}(\text{Импакт})}{Y_{\min}(\text{Фон})} \quad (2),$$

где Y_{\min} (Фон) - минимальное значение биотического показателя на фоновой площадке; Y_{\max} (Импакт) - максимальное значения показателя на площадке импактной зоны. Чувствительным считается параметр, SI которого > 0 (Воробейчик и др., 1994).

Таблица 3

Значение микробиотических показателей в разные сезоны года в почвах площадок, расположенных на разном удалении от объекта размещения отходов фосфогипса

Показатели	Осень (1 месяц экспозиции)			Весна (6 месяцев экспозиции)			Лето (11 месяцев экспозиции)		
	«фоновая»	«буферная»	«импактная»	«фоновая»	«буферная»	«импактная»	«фоновая»	«буферная»	«импактная»
Соотношение биомассы мицелия (БМ) и спор (БС) микромицетов	9,9 ± 1,4*	7,5 ± 1,2	5,6 ± 1,0	10,0 ± 0,9	8,1 ± 1,0	5,9 ± 0,4	8,5 ± 0,9	7,0 ± 0,8	5,2 ± 0,4
Интенсивность почв. дыхания, мМоль [CO ₂] / г почвы × час	3,0 ± 0,7	2,3 ± 0,4	1,0 ± 0,3	4,8 ± 1,0	4,4 ± 1,0	2,6 ± 0,7	4,1 ± 0,8	3,2 ± 0,6	2,3 ± 0,4
Потеря веса растительного субстрата, %	7,3 ± 2,3	6,6 ± 1,4	6,1 ± 1,4	20,5 ± 1,6	18,4 ± 1,4	15,1 ± 1,2	36,1 ± 0,7	33,1 ± 1,0	25,6 ± 0,8
Общая численность микромицетов, тыс. КОЕ/г почвы	11,3	118,0	48,7	36,7	170,7	40,7	51,3	478,6	30,6
Доля темнопигментированных микромицетов, %	5,0	13,3	8,6	24,2	6,0	20,1	29,2	3,4	41,4
Доля быстрорастущих микромицетов, %	29,0	17,5	22,2	9,1	2,7	9,1	13,4	1,4	16,7
Число видов микромицетов, ед.	11	16	18	18	11	17	19	14	18
Разнообразие по Шеннону	3,30	2,70	3,39	3,27	1,99	3,69	3,44	1,08	3,91
Выравненность по Пиелу	0,95	0,68	0,81	0,78	0,58	0,90	0,81	0,28	0,94

* Значение доверительного интервала при P=0,95.

Ранжирование исследованных биотических показателей отражено в таблице 4.

Таблица 4

Ранжирование биотических показателей по степени информативности

№ П/П	Показатель	Параметр	
		DR	SI
1	<i>потеря веса растительного субстрата</i>	57,3	0,17
2	<i>отношение мицелиальной биомассы к споровой</i>	53,0	0,30
3	<i>интенсивность почвенного «дыхания» по эмиссии CO₂</i>	6,8	0,15
4	разнообразию по Шеннону	13,3	-0,14
5	выравненность по Пиелу	2,3	-0,16
6	общая численность почвенных микромицетов	0,66	-3,96
7	число видов микромицетов	0,32	-0,64
8	доля быстрорастущих микромицетов	0,16	-0,25
9	доля темнопигментированных микромицетов	0,13	-0,72

Таким образом, по параметрам информативности и чувствительности из всего массива данных наиболее ценными для экологической оценки оказались показатели *потери веса растительного субстрата, отношение мицелиальной биомассы почвенных микромицетов к споровой и интенсивность почвенного «дыхания» по эмиссии CO₂*. Для перехода от шкалы «доза-эффект» к шкале «норма-патология» необходимо разноразмерные величины биологических показателей Y_i преобразовать в безразмерный индекс Y_i' . Для этого применена функция желательности (3):

$$Y_i' = \begin{cases} 1, & \text{если } Y_i \geq Y_{\min}(\Phi_{OH}) \\ \frac{Y_i - Y_{\min}}{Y_{\min}(\Phi_{OH}) - Y_{\min}}, & \text{если } Y_i < Y_{\min}(\Phi_{OH}) \end{cases} \quad (3),$$

где $Y_{\min}(\Phi_{OH})$ - минимальное значение информативного биотического показателя в области фоновых значений (Воробейчик и др., 1994).

Для оценки состояния почв исследуемых площадок, разноудаленных от ОРО рассчитан индекс нарушенности экологических свойств ($I_{НЭС}$), характеризующий степень отклонения наиболее информативных биотических показателей от фоновых значений (4):

$$I_{НЭС} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i'}{n} \quad (4),$$

где n -число **информативных** биотических показателей.

Зависимости доза-эффект для реакции параметров биоты в большинстве случаев имеют вид S-образной логистической кривой (Воробейчик, 1995; Яковлев, Макаров, 2006). Абсциссы трех критических точек (точки перегиба функции) находятся аналитически: верхняя критическая точка - это "начало", нижняя - "конец" быстрых

изменений, средняя точка - величина, аналогичная полулетальной дозе. Таким образом, каждому значению $I_{НЭС}$ может быть сопоставлена степень нагрузки и состояние почвы (табл. 5).

Таблица 5

Категории качества почвы на основе оценки их состояния
(по Воробейчик, 1995; Яковлев, Макаров, 2006)

$I_{НЭС}$	Категория	Степень нагрузки	Состояние почвы
$1 \leq I_{НЭС} < 0,79$	I	допустимая	фоновое
$0,79 \leq I_{НЭС} < 0,50$	II	низкая	слабо нарушенное
$0,50 \leq I_{НЭС} < 0,21$	III	средняя	нарушенное
$0,21 \leq I_{НЭС} < 0$	IV	высокая	сильно нарушенное
$I_{НЭС} = 0$	V	очень высокая	необратимо нарушенное

На основании «откликов» наиболее информативных биотических показателей проведен расчет $I_{НЭС}$ почв, подверженных воздействию фосфогипса. Установлено, что состояние почвы площадки «буферной» зоны можно характеризовать как слабо нарушенное ($I_{НЭС} = 0,749$), состояние почвы площадки «импактной» зоны – как нарушенное ($I_{НЭС} = 0,252$).

3.2. Изменение физико-химических свойств МПГ при внесении фосфогипса

Искусственные почвогрунты широко используются для благоустройства территорий разного хозяйственного назначения и восстановления функций верхних горизонтов почв. Утилизация многотоннажных отходов ФГ в виде добавок к почвенным субстратам – реальный экологический проект, при этом, однако, необходимо изучить последствия применения такой смеси и выявить безопасное содержание ФГ.

Для выявления возможных причин изменения токсичности МПГ под влиянием добавок ФГ проведен анализ содержания подвижного фосфора, потенциальных химических загрязнителей и значений pH. Результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6

Значения pH и некоторых показателей химического качества МПГ при добавке ФГ

Содержание фосфогипса, %	P_2O_5 подв., мг/кг	pH _{водн.}	Sr^{2+} , мг/кг	Ca^{2+} , мг/кг	Ca : Sr	F^- , мг/кг
0 (контроль)	132	5,80	3,5	1106	316	0,75
1,1	163	5,65	131	2450	19	1,02
3,3	275	5,22	394	7315	19	1,55
7,5	325	5,03	676	14751	22	2,35
14,7	405	4,85	1267	29348	23	4,93
25,0	970	4,26	1946	41564	21	6,85
100,0	2860	3,39	5647	152453	27	25,34

Фактором, во многом определяющим подвижность токсикантов, является рН почвенной вытяжки. В контрольном образце (табл. 6) рН составляет 5,80; внесение ФГ приводило к снижению рН. Минимальные значения рН 3,39 наблюдались в пробах, содержащих только ФГ, что обусловлено, по всей видимости, наличием в ФГ остатков серной и фосфорной кислот.

Получены экспериментальные данные, демонстрирующие зависимость содержания подвижного фосфора и потенциально опасных химических загрязнителей содержания от концентрации в почвогрунте фосфогипса на (уравнение 5-7):

$$[P_2O_5]_{\text{подв}}, \text{ мг/кг} = 27 \times [\text{ФГ}, \%] + 146; (R^2=0,92) \quad (5)$$

$$[Sr^{2+}], \text{ мг/кг} = 54 \times [\text{ФГ}, \%] + 305; (R^2=0,90) \quad (6)$$

$$[F^-], \text{ мг/кг} = 0,25 \times [\text{ФГ}, \%] + 0,80; (R^2=0,94) \quad (7)$$

Высокое значение коэффициента корреляции ($R^2=0,90-0,94$) свидетельствует о достоверной линейной взаимосвязи между показателями. Из уравнений 5-7 следует, что при повышении содержания фосфогипса в МПГ на 1%, содержание подвижного фосфора увеличивается в среднем на 27 мг/кг, подвижного стронция на 54 мг/кг, фторид – иона на 0,25 мг/кг.

Важным показателем загрязнения почв при применении ФГ является содержание стабильного стронция (Sr). Как видно из таблицы 6 даже незначительное внесение ФГ (1,1%) повышало содержание стронция в 37 раз по отношению к контролю. В значительно меньшей степени внесение ФГ отразилось на содержании подвижного кальция (табл. 6). В отличие от Sr его содержание возросло при 1,1% ФГ возросло только в 7-14 раз по сравнению с контролем, что стало причиной уменьшения отношения Ca : Sr примерно в 15 раз при внесении ФГ в МПГ. Другим поллютантом, в большом количестве содержащимся в ФГ, является фтор. Концентрация его водорастворимых форм в ФГ может достигать 25 мг/кг, при установленных ПДК для почв 2,8 мг/кг (СанПин 2.1.7.1287-03).

Исходя из уравнений 6 и 7, рассчитали содержание фосфогипса, необходимое для достижения потенциально опасного уровня стронция (600 мг/кг) и фторид – иона (2,8 мг/кг). Оно составило 5,7 и 8,0%, соответственно.

Таким образом, установлено, что внесение ФГ в МПГ до 5,7% (по массе) не вызывает увеличения содержания потенциально опасных загрязнителей сверх допустимого уровня.

3.3. Реакция сообществ почвенных микроорганизмов на внесение фосфогипса в МПГ

Нелинейный характер изменения качества ОПС при равномерно нарастающей антропогенной нагрузке подходит под определение теории катастроф¹. Математически это явление описывается функцией Ричардса (логистической кривой). При этом в качестве граничного критерия имеют ввиду в основном реакцию на экологическую нагрузку почвенной биоты и растительности в пределах 20-30% потери их биоразнообразия (Яковлев, Евдокимова, 2011). Мы допустили, что порог устойчивости почвенной экосистемы соответствует 20-ти процентному отклонению от контроля исследуемых биоиндикационных показателей, среди которых, главным образом, рассмотрены структурно-функциональные характеристики эукариотных и прокариотных микробных сообществ (грибные и бактериальные).

В таблице 7 представлены значения эффективных концентраций ФГ в МПГ, изменяющие биоиндикационные показатели относительно контроля (МПГ без ФГ) на 50 и 20% (названные нами по аналогии с принятыми токсикометрическими показателями EC_{50} и $NOEL_{20}$, соответственно).

Таблица 7

Концентрации ФГ в МПГ (% по массе), влияющие на изменение биоиндикационных показателей (EC_{50} и $NOEL_{20}$)

Показатель	Биоиндикационные показатели			
	соотношение БМ/БС	эмиссия CO_2	численность м/о, по ГХ-МС	численность м/о, по посеву на среду Чапека
EC_{50}	34,3	46,7	47,3	н/о
$NOEL_{20}$	9,6	10,8	17,3	н/о

* н/о - не обнаружено достоверного влияния содержания фосфогипса на показатель

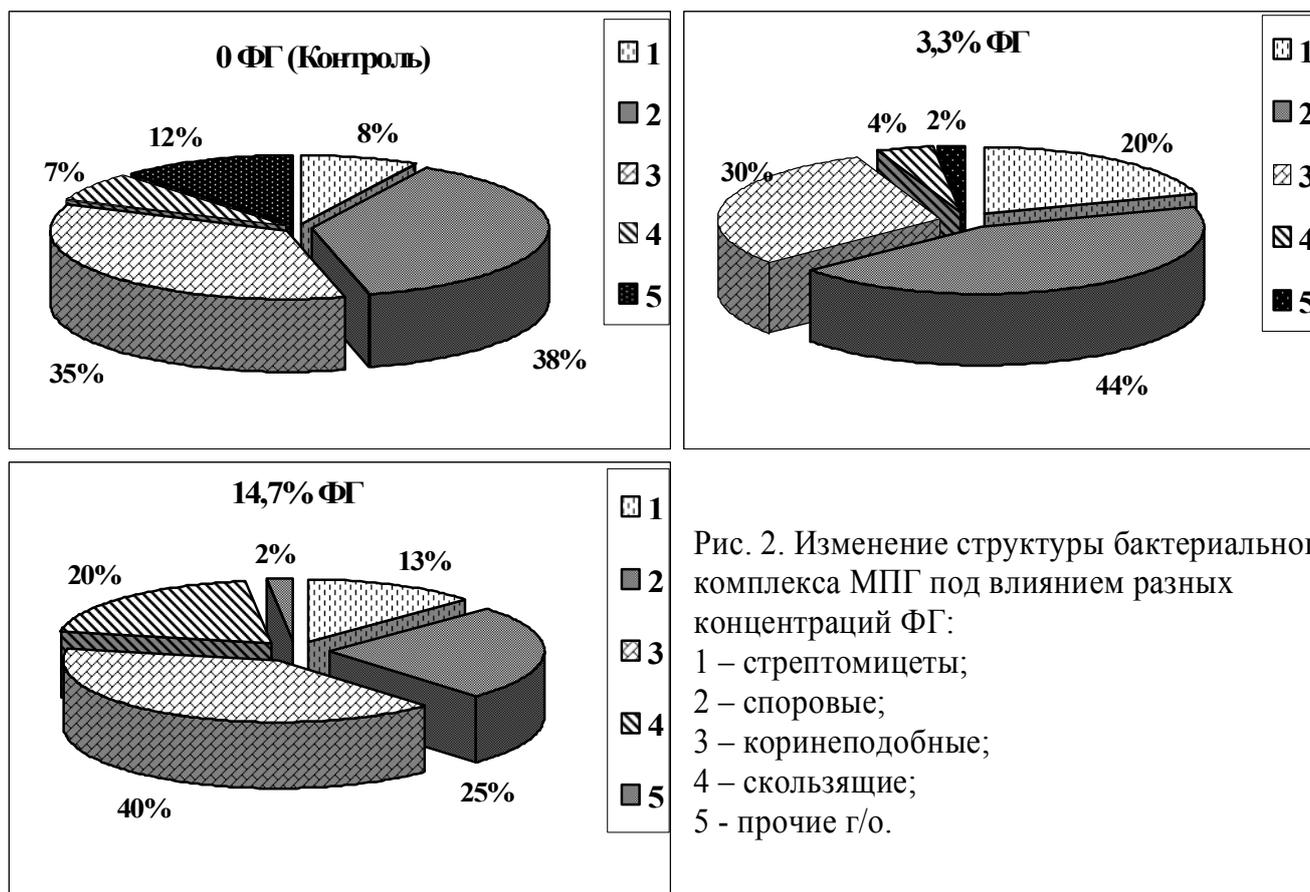
Из приведенных данных можно заключить, что содержание фосфогипса выше 9,6% негативно влияет на сообщества почвенной микробиоты. В первую очередь это выражается в возрастании доли споровой биомассы микроскопических грибов относительно мицелиальной.

Результаты исследования влияния ФГ в составе МПГ на структуру сапротрофного бактериального комплекса приведены на рисунке 3.

В качестве доминантов рассматривали таксоны, доля которых составляет более 30% от общего числа выращенных на питательной среде бактерий. К субдоминантам - доля которых составляла 20-30%, к группе среднего обилия относили таксоны бактерий, доля которых составляла 10-20%, к минорным компонентам – менее 10%. В исследованных образцах обнаружены: стрептомицеты (р. *Streptomyces*), споровые (р. *Bacillus*), коринеподобные бактерии (pp. *Arthrobacter*, *Rhodococcus*, *Cellulomonas*,

¹ Катастрофами называются скачкообразные изменения, возникающие в виде внезапного ответа системы на плавное изменение внешних условий (Виноградов и др, 1993).

Micrococcus), скользящие бактерии (pp. *Mucococcus*, *Cytophaga*) и в незначительных количествах выделялись прочие грамотрицательные бактерии. Внесение ФГ 3,3% не вызывало заметных перестроек в структуре сапротрофного комплекса МПГ. Существенные изменения структуры сапротрофного комплекса выявлены при содержании 14,7% ФГ в МПГ (в качестве доминантов в этом случае выступали коринеподобные бактерии; в группу субдоминантов перешли споровые и скользящие формы).



3.4. Реакция стандартизованных тест-организмов разных трофических уровней на внесение фосфогипса в МПГ

Экотоксичность образцов МПГ с ФГ исследовали в биотест-системах, основанных на реакциях организмов различной таксономической принадлежности, представляющих основные трофические уровни. Такая схема экспресс-анализа в определенной мере отражает системный подход и способствует выявлению трофических уровней, наиболее уязвимых при действии неблагоприятных факторов.

По результатам биотестирования в стандартизованных условиях проб МПГ с разным количеством ФГ проведен расчет токсикометрических параметров - EC_{50} и $NOEL$ для выявления самых чувствительных к ФГ тест-организмов (токсичность для которых наступает при наименьшем содержании ФГ). Полученные данные представлены в таблице 8.

Концентрации ФГ в МПГ (% по массе), влияющие на изменение тест-функций организмов разных трофических уровней (EC_{50} и $NOEL$)

Параметры	Тест-функции продуцентов		
	длина корней <i>S. alba</i>	прирост численности <i>C. vulgaris</i>	<u>прирост численности</u> <i>S. quadricauda</i>
EC_{50}	8,7	79,6	5,1
$NOEL$	3,8	23,4	2,0
	Тест-функции консументов		
	выживаемость <i>P. caudatum</i>	<u>выживаемость</u> <i>D. magna</i>	подвижность половых клеток <i>B. taurus</i>
EC_{50}	12,7	7,7	23,8
$NOEL$	4,4	2,8	10,3
	Тест-функции редуцентов		
	<u>биолюминесценция бактерий</u> <i>E. coli</i>	скорость радиального роста колоний <i>F. oxysporum</i>	
EC_{50}	15,3	н/о	
$NOEL$	5,3	н/о	

* н/о - не обнаружено достоверного влияния содержания фосфогипса на показатель.

Наиболее чувствительными к ФГ оказались следующие тест-функции: на уровне продуцентов – изменение прироста численности клеток микроводорослей *S. quadricauda*, на уровне консументов – выживаемость рачков *D. magna*, на уровне редуцентов – изменение свечения люминесцентных бактерий *E. coli* в составе препарата «Эколном» (табл. 8). Полуэффективная концентрация - EC_{50} для *S. quadricauda* равна 5,1%; для *D. magna* – 7,7%, для *E. coli* – 15,3% ФГ. Пороговые концентрации ($NOEL$) для них - 2,0, 2,8 и 5,3, соответственно.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что добавление ФГ в количестве более 2,0% (по массе) способно вызывать токсичность почвогрунта по отношению к *S. quadricauda*. В целом анализ «откликов» стандартизованных тест-организмов основных трофических уровней показал, что в порядке возрастания чувствительности их можно представить следующим образом: редуценты < консументы < продуценты.

Глава 4. Влияние гуминовых препаратов на токсичность фосфогипса

Для улучшения качества почв и почвогрунтов, а также для нейтрализации токсикантов широко используют гуминовые вещества из разных источников. Насколько эффективно и при каких условиях можно нейтрализовать токсический эффект высокого содержания фосфогипса в почвенных субстратах с помощью

промышленных гуматов исследовали с помощью батареи стандартизованных тест-организмов.

Приведенные на рисунке 3 значения коэффициентов детоксикации – D_{cp} (усредненные по трем тест-организмам - *S. quadricauda*, *D. magna* и *S. alba*), демонстрируют различия в протекторных свойствах ГП разного происхождения.

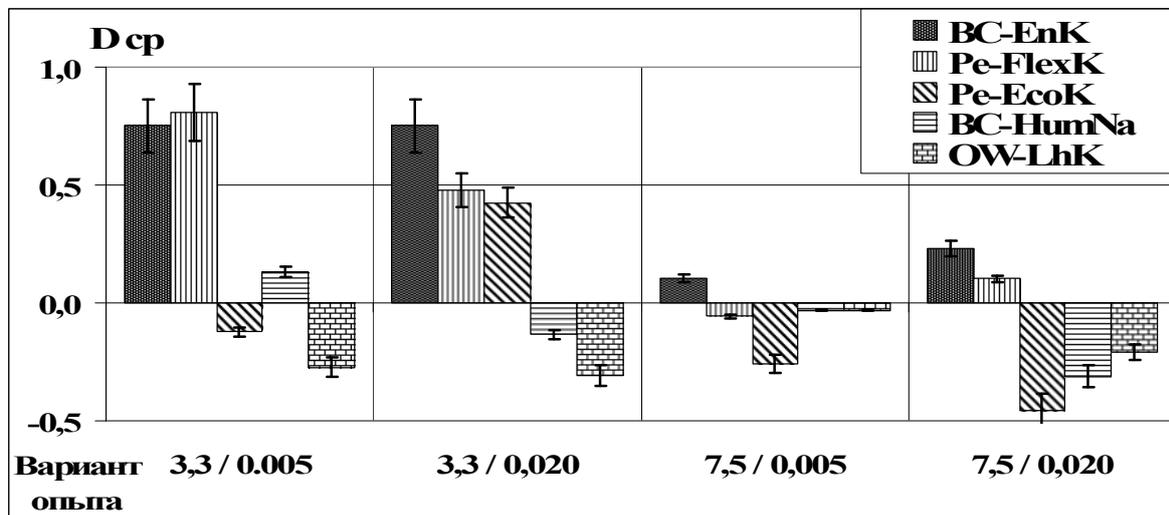


Рис. 3. Сравнение коэффициентов детоксикации (ось ординат) фосфогипса при обработке почвогрунта гуминовыми препаратами разного происхождения: по оси абсцисс - содержание ФГ (числитель) и ГП (знаменатель) в МПГ, % (показано значение доверительного интервала при $P=0,95$).

Полученные данные свидетельствуют, что при обработке гуматами можно повысить предел безопасного для биоты содержания ФГ в почвогрунте с 2,0% по меньшей мере до 3,3% (рис. 3). При повышении количества ФГ более чем в два раза (до 7,5%) коэффициент детоксикации оказывается либо отрицательным, либо же достоверно более низким, чем при содержании 3,3% ФГ. Сравнение гуматов показало, что наибольший детоксицирующий эффект обнаружили ГП из торфа Pe-FlexK и угля BC-EnK, несколько ниже - Pe-EcoK (рис.3). Наименьшей детоксицирующей способностью характеризовались BC-HumNa и OW-LhK.

Изменения токсикометрических показателей при действии разных концентраций ГП (Pe-FlexK и BC-EnK) на токсичность смеси почвогрунта с ФГ, отражены на рисунке 4. Интересно, что эффект при внесении 0,005% выше, чем при 0,020%. Для каждого тест-организма в варианте с 0,005% Pe-FlexK показатель EC_{50} увеличивался на 10-60%, $NOEL$ – на 40-110% (относительно контроля), а при внесении 0,005% BC-EnK - на 10-70% (EC_{50}) и на 40-90% ($NOEL$). В то время как при содержании гуматов 0,020% для *D. magna* и *S. quadricauda* наблюдалось снижение токсикометрических показателей исследуемой смеси МПГ и ФГ на 3-32% (относительно контроля).

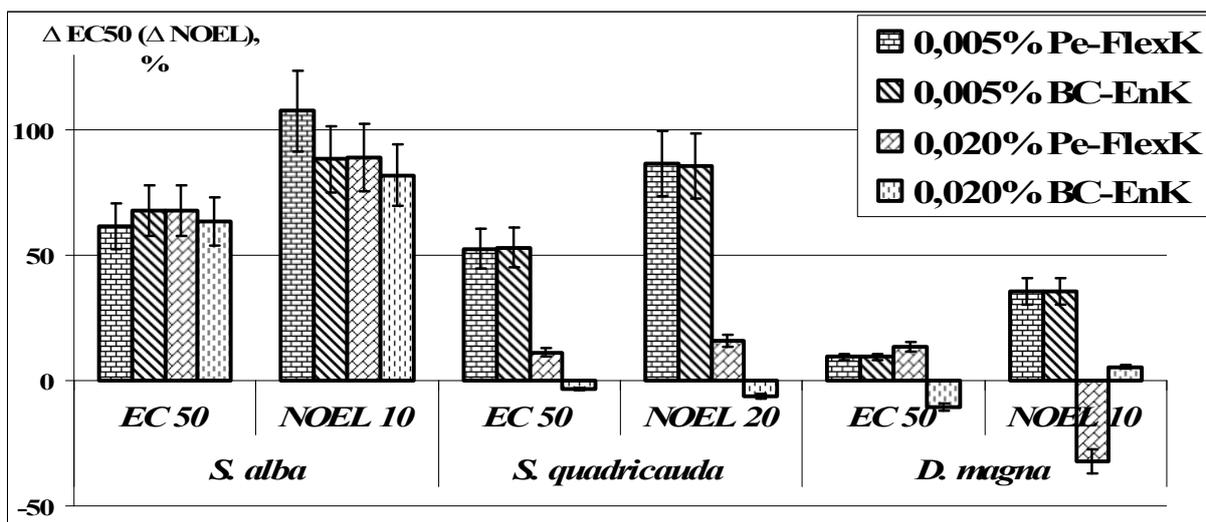


Рис. 4. Влияние ГП на изменение токсикометрических параметров (EC_{50} и $NOEL$) трех биотест-систем при оценке уровня безопасности ФГ в МПГ.

Таким образом, исследования влияния ГП из торфа Pe-FlexK и угля BC-EnK на токсикометрические показатели МПГ с ФГ практически во всех тест-системах показали четкую зависимость положительного действия гуматов от их содержания. Причем, меньшая из исследованных концентраций была более эффективна, проявила более выраженные протекторные свойства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование химико-аналитических методов исследований в сочетании с методами биоиндикации и биотестирования дают достаточно надежную оценку влияния фосфогипса на почвы и почвогрунты. Наши исследования позволили выявить особенности химического состава почвенных субстратов с различным содержанием фосфогипса, учесть реакции организмов различных уровней организации, таксономического и трофического статусов. Показано, что фосфогипс как отход переработки природного минерального сырья при воздействии на почву и почвогрунт оказывает не только мелиорирующее, но и негативное воздействие. Последнее связано с изменением кислотности, содержания фторид - и фосфат - ионов, подвижных форм стронция и кальция. Это обстоятельство свидетельствует о необходимости внесения этих показателей в систему элементов мониторинга почв как обязательных при оценке воздействия фосфогипса.

Характер воздействия ФГ на почвенные экосистемы зависит от времени года и удаленности от ОРО; изменение экотоксикологической характеристики МПГ зависит от содержания ФГ. При исследовании экологического состояния почв территорий на разном удалении от отвалов фосфогипса (многотоннажных отходов производства минеральных удобрений) дана дифференцированная оценка воздействию объекта

размещения отходов (ОРО) в виде индекса нарушенности экологических свойств почв - $I_{НЭС}$.

Применение промышленных гуматов позволяет уменьшить негативное влияние фосфогипса, способствуя повышению безопасности МПГ с ФГ для живых организмов разных трофических групп. Для этого целесообразно применять промышленные гуминовые препараты, производимые из торфа ВС-EnK и угля Pe-FlexK. Установлено, что положительный эффект ГП уменьшается с увеличением содержания ФГ в МПГ и увеличением концентрации ГП в МПГ.

Другой, на наш взгляд, интересный практический аспект данной работы заключается в возможности использования предложенной методической модели для нормирования содержания токсических компонентов в почвогрунтах и почвах, а также дифференциации этих норм по видам земель разного хозяйственного использования. В литературе описаны, так называемые, базовые экологические нормы - индивидуальные границы экологической нормы «состояния-воздействия» для почв разных категорий земель с учетом специфики их хозяйственного использования (табл.9).

Таблица 9

Экологические требования, соответствующие допустимым значениям основных характеристик почв земель разного хозяйственного назначения – базовые экологические нормы (по: Яковлеву, Евдокимовой, 2011)

Характеристики почв	Почвы разных категорий земель					
	Природные объекты	Природно-антропогенные объекты				
	ООПТ	с/х назначения	населенных пунктов	лесного фонда	промышленности и транспорта	водного фонда
Химические	фон	ПДК / ОДК		не допускается переход загрязняющих веществ в сопредельные природные среды		
Физические	фон	способность почвенных экосистем к самовосстановлению (утрата не более 20-30 % биоорганического потенциала почв*)				
Биологические	фон					

* Биоорганический потенциал почв – сумма живого и гумусированного органического вещества.

Согласно предложенной схеме и исходя из полученных нами данных (табл. 7 и 8), можно предположить, что для земель особо охраняемых природных территорий (ООПТ) допустимое содержание ФГ в почвогрунте составляет не более 2,0%, для земель сельскохозяйственного назначения и населенных пунктов – не более 5,6%, для земель лесного и водного фонда, промышленности и транспорта – не более 9,6%. Однако, учитывая многообразие факторов, воздействующих на биоту, для проверки этого предположения требуются специальные исследования.

Выводы

1. Экологическая оценка почв и почвогрунтов показала, что фосфогипс (ФГ) оказывает негативное воздействие на функционирование биоценозов. Исследования природных биотопов на разном удалении от объекта размещения отходов (ОРО) по наиболее информативным биотическим параметрам (потеря веса растительного опада, микробной эмиссии CO_2 , соотношение мицелиальной и споровой биомасс почвенных микромицетов) показали, что на расстоянии 300-400 м от ОРО («буферная» зона) почвы характеризуются нарушенностью низкой степени ($I_{НЭС}=0,749$), а почвы с площадок, непосредственно прилегающих к отвалам ФГ («импактная» зона), - средней степенью нарушенности ($I_{НЭС}= 0,252$).
2. Добавление ФГ из апатитового сырья (Кировского месторождения) в модельный почвогрунт легкого гранулометрического состава (стандартная почвенная смесь по ИСО 11268-1) снижает рН среды, повышает доступность Sr для живых организмов, приводит к достижению предельно допустимого уровня содержания стронция при 5,7% ФГ, фторид-иона – при 8,0%.
3. Методами биотестирования по общепринятым токсикометрическим показателям установлено, что чувствительность стандартизованных тест-культур организмов, представляющих основные трофические уровни, к фосфогипсу возрастает в ряду редуценты < консументы < продуценты. Полуэффективная концентрация - EC_{50} для продуцентов (изменение прироста численности клеток микроводорослей *S. quadricauda*) - 5,1% ФГ (по массе); для консументов (выживаемость рачков *D. magna*) – 7,7%, для редуцентов (изменение свечения люминесцентных бактерий *E.coli*) – 15,3%.
4. На основании реакции наиболее чувствительных тест-организмов (микроводорослей *S. quadricauda*) установлено, что пороговая концентрация фосфогипса в почвогрунте, не оказывающая негативное воздействие на биоту (*no observed effect level* - **NOEL**) соответствует 2,0% (по массе).
5. Гуминовые препараты угольного (BC-EnK) и торфяного (Pe-FlexK) происхождения при концентрации 0,005% способствуют снижению неблагоприятного воздействия фосфогипса, повышая предел допустимого содержания ФГ в МПГ (**NOEL**) до 3,6% (по массе).

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

В журналах, рекомендованных ВАК

1. Каниськин М.А., Терехова В.А., Яковлев А.С. Контроль гуматной детоксикации отходов фосфогипса методами биотестирования // **Экология и промышленность России**. 2007. №8. С. 48-51.
2. Каниськин М.А., Семенова Т.А., Терехова В.А. Изменения микобиоты почв под влиянием фосфогипса // **Микология и фитопатология**. 2009. №4. С. 37-43.
3. Терехова В.А., Домашнев Д.Б., Каниськин М.А., Степачев А.В. Экотоксикологическая оценка повышенного содержания фосфора в почвогрунте по тест-реакциям растений на разных стадиях развития // **Проблемы агрохимии и экологии**. 2009. №3. С. 21-26.
4. Каниськин М.А., Изосимов А.А., Терехова В.А., Якименко О.С., Пукальчик М.А. Влияние гуминовых препаратов на биоактивность почвогрунта с фосфогипсом // **Теоретическая и прикладная экология**. 2011. №1. С. 87-95.

В других журналах, материалах и тезисах конференций

5. Каниськин М.А., Горленко А.С., Терехова В.А. Оценка биологической активности почв по эмиссии углекислого газа в зоне размещения отвалов фосфогипса // Мат. докладов II Международной научно-практической конференции «Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем». Иркутск. 2-7 сентября 2006. С. 363.
6. Каниськин М.А. Анализ информативности некоторых биотических параметров при оценке экологического состояния почв в условиях воздействия отходов фосфогипса // Мат. докладов XV международной конференции «Ломоносов-2008», секция «Почвоведение». М. 8-12 апреля 2008. С. 57-58.
7. Семенова Т.А., Биланенко Е.Н., Каниськин М.А., Попутникова Т.О., Терехова В.А. Оценка качества ремедиации почв в нефтедобывающих районах Сибири по данным микробиологических исследований // Мат. докладов V съезда Всероссийского общества почвоведов им. В.В.Докучаева. Ростов-на-Дону: ЮФУ. 2008. С. 451.
8. Terekhova V., Poputnikova T., Fedoseeva E., Rakhleeva A., V. Vavilova, M. Kaniskin, M. Timofeev, I.Ibatullina, A. Yakovlev. Biotic Control of Humic Substances Ecotoxicity and their Remediation Effect in Contaminated Environment // 14th Meeting of IHSS "From Molecular understanding to innovate applications of humic substances". Moscow – St. Petersburg. 2008. PP. 687-690.
9. Степачев А.В., Каниськин М.А., Домашнев Д.Б., Терехова В.А. Фитотестирование избыточного содержания фосфора в почвогрунте по реакции высших растений // Мат. докладов Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы

региональной экологии в условиях устойчивого развития». Киров. 25-27 ноября 2008. С. 316-319.

10. Каниськин М.А., Терехова В.А., Семенова Т.А., Лысак Л.В. Влияние фосфогипса на микроорганизмы почвогрунта // **Доклады по экологическому почвоведению**. Выпуск 1 (11). М. 2009. С. 62-78.
11. Степачев А.В., Каниськин М.А. Сравнение дигидрофосфата калия и фосфогипса как источников подвижного фосфора в почвогрунтах по реакции биоты // Мат. докладов XVI Международной конференции «Ломоносов», секция «Почвоведение». М. 14-17 апреля 2009. С. 94-95.
12. Fedoseeva E.V., Yakimenko O.S., Terekhova V.A., Gladkova M.M., Kaniskin M.A., Timofeev M.A. Comparative sensitivity of standard test-organisms to soluble humates of different origin // 17th International Environmental Conference: Global Indicators. Moscow. 18-22 May 2009. P.53.
13. Терехова В.А., Лысак Л.В., Вавилова В.М., Домашнев Д.Б., Каниськин М.А. Влияние биогенных элементов на чувствительность микробных сообществ к тяжелым металлам в искусственном почвогрунте // **Бюллетень Московского общества испытателей природы**. Отдел биологический. Том 114, вып. 3. Приложение 1. Часть 3. Экология. Природные ресурсы. Рациональное природопользование. Охрана окружающей среды. М. 2009. С. 226-231.
14. Каниськин М.А. Исследование влияния добавок фосфогипса к почвогрунту на биотест-системах разной таксономической принадлежности и трофического уровня // Мат. докладов XVII Международной конференции «Ломоносов», секция «Почвоведение».- М. 13 апреля 2010. С. 48.
15. Каниськин М.А. Нормирование содержания фосфогипса в почвогрунте по реакции биотест-систем разных трофических уровней // Мат. докладов международной научно-практической конференции «Экологическое нормирование, сертификация и паспортизация почв как научная основа рационального землепользования». М.: МАКС Пресс. 2010. С. 86-89.
16. Yakimenko O., Izosimov A., Kanis'kin M., Terekhova V. Detoxifying action of humates towards phosphogypsum. // SETAC Europe: *Ecosystem Protection in a Sustainable World: a Challenge for Science and Regulation*, SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry. Milan, Italy. May 15-19 2011. P.121.