

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И БИОТЕСТИРОВАНИЕ ПОЧВ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДОБЫЧИ И ПРОИЗВОДСТВА ФОСФОРИТОВ

Е.Ю. Елсукова, И.С. Недбаев, Д.С. Кузьмина

Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия, email: e.elsukova@spbu.ru

В настоящем исследовании дана оценка воздействия добычи фосфоритов на почвы в зоне предприятия Фосфорит Кингисеппского района Ленинградской области с помощью оценки содержания в почвах тяжелых металлов, а также по результатам биотестирования почв с использованием дафний *Daphnia magna Straus*. Установлено, что на территории, прилегающей к производству, происходит аккумуляция ряда тяжелых металлов. Вместе с этим, на техногенных объектах наблюдается наибольшая токсичность почв для выбранного тест-объекта. Причиной смертности дафний, вероятно, является высокое содержание меди и стронция в почвенных пробах.

Ключевые слова: добыча фосфатов; фосфогипс; загрязнение почв; биотестирование; Кингисепп.

Изучены почвы в зоне воздействия предприятия Фосфорит Кингисеппского района Ленинградской области. На территории промышленной площадки предприятия находятся крупные техногенные объекты (отвал фосфогипса, хвостохранилища), рекультивированные отвалы вскрышной породы. Условно-фоновые территории расположены на расстоянии 4–5 км от источника загрязнения.

Для анализа в период с 2019 по 2021 годы было отобрано 84 почвенные пробы на 51 эталонной на площади. Отбор почвенных проб производился в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017. При наличии в почве, пробы отбирались из двух горизонтов – поверхностного (0–5 см) и срединного (5–20 см). Было определено валовое содержание и подвижные формы тяжелых металлов (ТМ) с использованием ацетатно-аммонийного буфера (рН 4,8) [1].

По результатам рассчитаны коэффициенты концентрации (Кс) и суммарного загрязнения почв [2]. Для валового содержания показатель суммарного загрязнения рассчитывался для Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn по ПДК/ОДК [3], для Ba, Co, Cr, Sb, Sc, Sr, V – по зональному фону для подзолистых почв [4]. По оценочной шкале опасности все изученные почвы относятся к допустимой категории загрязнения (Zс менее 16). Наибольший вклад в загрязнение вносит стронций.

Для подвижных форм Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn при расчете были использованы значения ПДК/ОДК [3], а для – Ba, Fe, Sr – медиана содержания элемента в почвах южной тайги [5]. Все почвы в среднем относятся к допустимой категории загрязнения. Наибольший суммарный показатель загрязнения характерен для техногенных участков, наименьший – для рекультивированных территорий (таблица). Большой вклад в загрязнение почв вносят марганец и медь, по этим элементам коэффициент концентрации химического вещества превышает 1 для 33 и 40 проб соответственно при общем количестве 80 проб. По степени опасности марганец относится к 3 классу – малоопасные вещества, медь – ко второму классу опасности, умеренно опасные вещества [6]. Надо отметить высокое содержание подвижных форм железа по сравнению с медианой содержания этого элемента в почвах южной тайги на условно-фоновых (Кс достигает 23), и в меньшей степени на рекультивированных территориях. Коэффициент концентрации железа больше 1 для 50 проб из 80, что связано с кислотностью почв. Отличительной чертой почв техногенных объектов является высокое содержание подвижного стронция в (Кс достигает 30).

Суммарный показатель загрязнения почв подвижными формами тяжелых металлов

Тип участка	Zc среднее	Zc мин.-макс.
Условно-фоновые территории	8	2-24
Рекультивированные участки	5	2-20
Техногенные объекты	9	2-31

Для определения токсичности почвенных образцов было проведено биотестирование при помощи дафний *Daphnia magna Straus* [7]. Всего было проанализировано 60 образцов почвы. Результаты биотестирования графически представлены на рисунке 1.

Наибольшее количество погибших дафний зафиксировано в пробах под номерами 5 и 8. В этих образцах погибли все дафнии. Проба под номером 5 отобрана на отвале фосфогипса. В данной пробе по полученным результатам зафиксировано высокое валовое содержание стронция. Превышение над средним содержанием стронция на условно-фоновых территориях – в 31 раз, над зональным фоном для подзолистых почв – в 12 раз. Проба под номером 1 также отобрана на отвале фосфогипса. В ней выжило 20 % дафний. В данной пробе зафиксировано превышение ПДК по подвижным формам цинка в 1,3 раза, по подвижным формам меди – в 1,2 раза. Содержание подвижных форм железа выше в 2,1 раза, чем медиана содержания данного элемента в почвах южной тайги.

В пробе под номером 3 также выжило 20 % дафний. Она отобрана на отвале хвостохранилища. В ней обнаружены высокие концентрации подвижных форм бария – в 4,3 раза выше, чем на условно-фоновой территории, и железа – в 1,7 раз выше норматива.



Рис. 1. Количество выживших *Daphnia magna Straus*

В пробе под номером 25 выжило 20 % *Daphnia magna Straus*. Она была взята на рекультивированных территориях. В данной пробе выявлено превышение ПДК по содержанию подвижных форм марганца в почвах в 2,1 раза. Также получено превышение фоновых значений для подвижных форм бария и железа – в 1,3 раза.

Чуть выше процент выживших дафний в пробе под номером 50 – 30 %. Она отобрана на хвостохранилище. В ней выше, чем на условно-фоновых территориях, содержание стронция – в 5,3 раза и бария – в 1,2 раза.

По 40 % выживших дафний в пробах под номерами 11, 81 и 82. Все они взяты на условно-фоновой территории в лесных экосистемах. В них зафиксировано высокое содержание подвижных форм железа. В пробе 11 данное превышение – в 8 раз, в пробе под номером 81 – в 3,1 раза, в пробе под номером 82 – в 1,4 раза.

Таким образом, в 8 из 10 проб, где погибло более 50 % дафний, обнаружено высокое содержание подвижных форм железа. В 5 пробах – содержание подвижного бария выше фоновых значений. В двух пробах выявлены превышения ПДК по подвижным формам марганца. По одной пробе с превышением ПДК по подвижным формам цинка и меди. В пробе, отобранной на отвале фосфогипса, в которой погибли все дафнии, выявлено

высокое содержание валовых форм стронция по сравнению с фоновыми значениями. Значения рН образцов, отобранных на отвале фосфогипса, находятся в диапазоне 6,9–8,0.

На рисунке 2 представлен процент погибших дафний в зависимости от места отбора почвенной пробы. Наибольшее количество погибших дафний зафиксировано в пробах, отобранных на отвале фосфогипса и на хвостохранилищах. В данных пробах погибло 40 % от общего количества дафний, что свидетельствует о токсичности среды для данного вида ракообразных. В пробах, отобранных в лесных экосистемах, погибло 27 % дафний, что может быть связано с кислой реакцией водных вытяжек. Для дафний подходит среда обитания с кислотностью 7,0–8,5 [7]. Для условно-фоновых территорий характерна кислая реакция среды со значением рН от 4,0 до 7,0.

В водных вытяжках из проб, взятых на рекультивированных рудниках, погибло 17 % дафний, что говорит об их низкой токсичности и подходящей кислотности. На рекультивированных участках и хвостохранилищах значения рН варьируют от 4,7 до 7,9, реакция среды от слабокислой до слабощелочной.

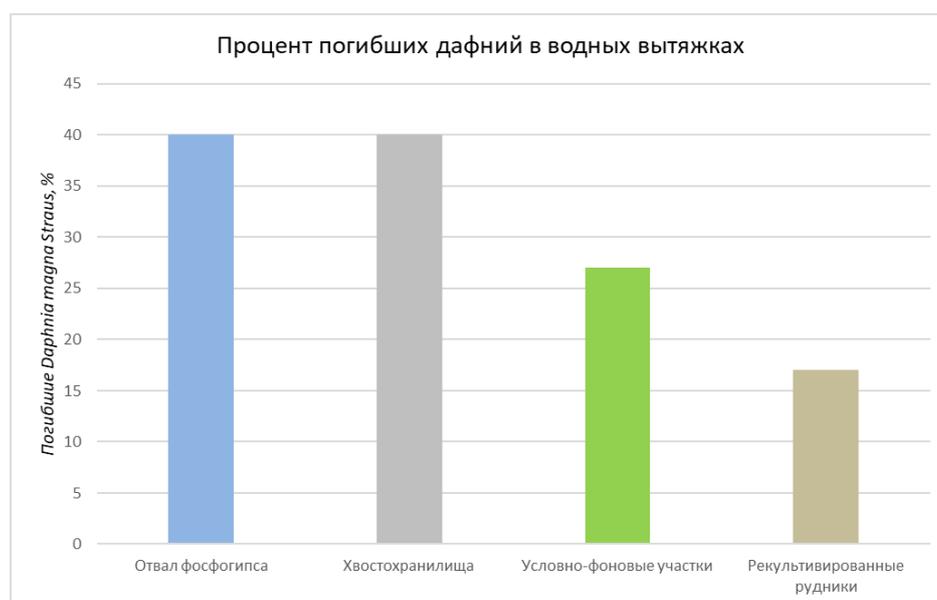


Рис. 2. Гибель дафний в водных вытяжках

Также был проведен корреляционный анализ для установления зависимости количества погибших дафний и содержанием в почве тяжелых металлов. По результатам анализа, значимая зависимость обнаружена между количеством погибших дафний и валовым содержанием в почве

меди, стронция и бария. Положительная – с содержанием никеля, кобальта, хрома, скандия. Отрицательная – с кислотностью почв. Это может говорить о токсичности данных микроэлементов для дафний.

По результатам проведенного исследования установлено, что добыча полезных ископаемых для производства фосфорных удобрений и хранение отходов такого производства приводит к значительному изменению состояния почв.

Суммарный показатель загрязнения показал, что загрязнение почв находится на допустимом уровне. При этом наибольший показатель наблюдается на техногенных объектах, меньше загрязнены условно-фоновые и рекультивированные территории.

Результаты оценки по суммарному показателю согласуются с результатами по биотестированию. Биотестирование показало наибольшую токсичность на техногенных объектах. Максимальный процент погибших дафний зафиксирован на отвале фосфогипса и хвостохранилище. Высокая смертность дафний связана с валовым содержанием стронция и меди в почвах.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90099.

Выражаем благодарность ресурсному центру «Методы анализа состава вещества» Научного парка СПбГУ.

Библиографические ссылки

1. Елсукова Е. Ю., Недбаев И. С., Кузьмина Д. С. Загрязнение почв в зоне воздействия производства фосфорных удобрений // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2022. Т. 67, № 4. С. 652–674.
2. Методические указания МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест». Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ. Введ. 05.04.1999. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. 38 с.
3. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". М., 2021. 975 с.
4. Геохимия окружающей среды. / Ю. Е. Сает [и др.]. М.: Недра, 1990.
5. *Salminen R., Chekushin V., Bogatyrev I.* Elsevier Geochemical atlas of eastern Barents region. 2004. 560 p.
6. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения.
7. ФР.1.39.2007.03222. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. Дата введения: 17.10.2005. М.: АКВАРОС, 2007. 51 с.