

## КОМПЛЕКСНАЯ И ПОКОМПОНЕНТНАЯ ОЦЕНКА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ, НАХОДЯЩЕЙСЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ФОСФАТОВ

Елсукова Е.Ю.<sup>1</sup>, Недбаев И.С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет (Институт наук о Земле),

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация  
e.elsukova@spbu.ru

Добыча фосфатов является перспективным направлением агрохимической промышленности. Как и другие виды промышленности, добыча фосфатов приводит к загрязнению окружающей природной среды. К основным загрязняющим веществам при данном воздействии относят фтор, тяжёлые металлы (в особенности, стронций), а также природные радионуклиды. В настоящем исследовании проведена комплексная геоэкологическая оценка территории в зоне воздействия Кингисеппского месторождения фосфоритов. Современное экологическое состояние почвенного покрова месторождения характеризуется повышенным содержанием (в сравнении с условно-фоновой территорией) фосфора, фтора, стронция и подвижных форм ряда тяжёлых металлов (кадмия, марганца, меди, никеля и цинка). Удельная активность природных радионуклидов на территории месторождения несколько выше условно-фоновой. Лесные экосистемы, которые появились в результате рекультивации отвалов вскрышной породы при добыче фосфатов, по таксономическим характеристикам древостоя близки к зональным, однако травяно-кустарничковый ярус этих экосистем значительно отличается обилием рудеральных видов даже через 40 лет после рекультивации.

**Ключевые слова:** добыча фосфатов, фосфогипс, стронций, фтор, радионуклиды, почвенный покров, лесные экосистемы, рекультивация.

*Введение.* Комплексная и покомпонентная оценка природной среды, находящейся под воздействием добычи фосфатов, является важным направлением экологических исследований. В качестве приоритетных загрязняющих химических элементов выделяют стронций и фтор, кроме того, существуют еще две группы элементов, накапливающихся в прилегающих ландшафтах – природные радионуклиды и тяжелые металлы [5]. Основной причиной значительного содержания тяжелых металлов в выбросах химических заводов является наличие большого количества примесей химических элементов в фосфорном сырье (титана – свыше 1200 мг/кг, марганца – около 300 мг/кг, стронция – свыше 2550 мг/кг, свинца – свыше 12 мг/кг) [6]. Содержание водорастворимых форм фтора в нем может достигать 25 мг/кг, при установленных ПДК для почв 2,8 мг/кг [8]. В фосфатных породах содержание  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  варьирует в широких пределах: от 37 до 4900 Бк/кг для  $^{238}\text{U}$  и от 100 до 10000 Бк/кг для  $^{226}\text{Ra}$  [2].

Данные показывают, что на 1 т  $\text{P}_2\text{O}_5$  в некоторых рудах приходится 40-100 кг фтора, 20-40 кг стронция, 20-25 кг оксидов редкоземельных элементов. При переработке природных фосфоритов большая часть соединений фтора и стронция переходит в удобрения [4]. Активность  $^{226}\text{Ra}$  в фосфогипсе колеблется в пределах от 18 до 1406 Бк/кг, активность  $^{232}\text{Th}$  – от 2 до 118 Бк/кг, а активность  $^{40}\text{K}$  – от 0 до 569 Бк/кг [3].

Одно из распространенных применений фосфогипса – это использование его в качестве удобрения для почв. Но активность  $^{226}\text{Ra}$  в почве, обработанной фосфогипсом, составляет от 50 до 479 Бк/кг, а в почве без такой обработки – от 37 до

54 Бк/кг [1]. Для увеличения продуктивности почвы используют фосфогипсование. Также фосфогипс снижает плотность почвы и увеличивает влагоемкость [7].

Из фосфогипса можно делать цементные смеси, фосфогипс возможно использовать и при производстве кирпичей, очищенный фосфогипс может быть использован для производства гипсовых штукатурок. В Российской Федерации фосфогипс массово применяется для мелиорации аридных почв.

Целью настоящего исследования было проведение комплексной и покомпонентной оценки природной среды, находящейся под воздействием добычи фосфатов.

*Материалы и методы исследований.* В зоне воздействия предприятия ООО «ПГ «Фосфорит» (г. Кингисепп, Ленинградская область, Россия) заложена 51 эталонная площадка, на каждой из которых было сделано геоботаническое описание и определён тип почвы, отобрано, согласно ГОСТ 17.4.3.01-2017, за два года 84 пробы почвы. На заложенных эталонных площадях сделаны описания природно-территориальных комплексов, которые включали положение в мезорельефе, микрорельеф, тип миграционных потоков, геоботанические описания по стандартным методикам, характеристики древостоя, биоиндикационные характеристики. Заложены и описаны почвенные разрезы. Геоэкологические профили и эталонные площади закладывались на разном удалении от отвала фосфогипса с учетом катенарной структуры ландшафта. При планировании местоположения профилей и эталонных площадей учитывались следующие особенности: тип фации, геологическое строение территории, почвообразующие породы, целевое использование земли, роза ветров, расположение относительно отвала фосфогипса.

В почвах определено валовое содержание и подвижные формы тяжелых металлов, а также ряд других показателей, характеризующих состояние почвенного покрова в районе воздействия отвалов фосфогипса, а именно концентрация фтора, фосфора, серы, азота, кальция, потенциальная и актуальная кислотность, содержание гумуса, токсичность методом биотестирования (тест-объект *Daphnia magna Straus.*), удельная активность природных радионуклидов. Проведена статистическая обработка полученных данных. Для поиска различий между выборками использовались непараметрические критерии: U-Манна-Уитни и Краскела-Уоллиса.

Проведена статистическая обработка полученных данных и определены закономерности в распределении изученных показателей. Проанализирована эффективность рекультивационных работ, проведенных на Кингисеппском месторождении фосфоритов. Оценены с геоэкологической точки зрения образовавшиеся на месте техногенных объектов экосистемы и предложены возможности их использования.

*Результаты и их обсуждение.* Наличие хранилища фосфогипса меняет геохимическую обстановку в ландшафте. Прилегающие к отвалу природно-территориальные комплексы вследствие переноса загрязняющих веществ с водными потоками, а также и отдаленные природно-территориальные комплексы вследствие переноса аэрогенного характера, попадают под воздействие этого антропогенного

объекта. Оно проявляется в изменении физико-химических характеристик растительности, почвы и водных объектов, в том числе в аккумуляции загрязняющих веществ в компонентах природной среды.

Современное экологическое состояние почвенного покрова на территории Кингисеппского месторождения фосфоритов характеризуется повышенным содержанием (в сравнении с условно-фоновой территорией) фосфора, фтора, стронция и подвижных форм ряда тяжелых металлов (кадмия, марганца, меди, никеля и цинка). Содержание указанных химических элементов уменьшается при удалении от отвала фосфогипса. Преимущественный способ миграции – ветровой перенос частиц фосфогипса и выбросов предприятия. Опасность отвалов фосфогипса для окружающей среды заключается в накоплении в прилегающих ландшафтах стронция, фтора, фосфора и природных радионуклидов. На территории Кингисеппского месторождения фосфоритов удельная активность природных радионуклидов (124 Бк/кг) существенно не отличалась от условно-фоновой (91 Бк/кг). Содержание стронция на условно-фоновой территории составляет 91-104 мг/кг, фтора – 240-302 мг/кг, фосфора – 914-1078 мг/кг, а на территории месторождения: стронция – 298-3074 мг/кг, фтора – 1514-2080 мг/кг, фосфора – 8148-10824 мг/кг.

Потенциальное использование имеющихся отвалов на территории Кингисеппского месторождения фосфоритов зависит от состава материала отвалов. Если материал представляет собой вскрышные породы – доломиты и известняки волховской и обуховской свит, то их после проведения полноценной лесной рекультивации можно использовать в качестве основы для формирования рекреационных территорий и земель лесного фонда. Если материал отвала – фосфогипс, то его использование лимитируется содержанием загрязняющих веществ. Не рекомендуется без предварительного удаления стронция и фтора применять материал отвала для производства продуктов на основе фосфогипса (например, различного рода рекультивантов).

На отвалах вскрышных пород проводится рекультивация. Вначале происходит нанесение почвенного слоя, затем засев травами, а в завершении посадка лесных культур – ели европейской *Picea abies* (L.) H. Karst. Таким образом, на различных участках отвала наблюдаются сукцессионные смены при формировании елового сообщества. Естественное зарастание отвалов и хвостохранилищ происходит, в основном, с формированием березовых сообществ (*Betula pubescens* Ehrh.) с преобладанием вейника наземного *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth и иван-чая узколистного *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. в травяно-кустарничковом ярусе. Более эффективному формированию полноценного почвенно-растительного покрова может помочь отсыпка почвенного слоя большей мощности, так как все почвы на отвалах – маломощные. Травяно-кустарничковый ярус лесов на рекультивированных территориях даже в 40-летних рекультивированных ельниках представлен рудеральными видами.

*Заключение.* Хранилища фосфогипса выступают как самостоятельный искусственный компонент геосистем, меняющий динамику геохимических процессов ландшафтов размещения. Основное изменение заключается в увеличении содержания стронция, фтора, ряда тяжелых металлов и природных радионуклидов в компонентах прилегающих ландшафтов.

При этом сфера применения фосфогипса достаточно широка. Его можно использовать в строительстве, при оборудовании дорожного полотна, для удобрения почв, для извлечения редкоземельных элементов и в ряде других отраслей. Одним из возможных решений является рекультивация отвалов фосфогипса.

При разработке решений о хранении, переработке или использовании фосфогипса рекомендуется учитывать геоэкологический аспект, связанный с минимизацией воздействия на окружающую природную среду. Учёт геохимического влияния хранилищ фосфогипса позволит уменьшить количество и масштабы экологических проблем, связанных с этим отходом фосфорной промышленности.

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

#### **Библиографические ссылки**

1. Papastefanou, C. The application of phosphogypsum in agriculture and the radiological impact / Papastefanou C., Stoulos S., Ioannidou A., Manolopoulou M. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2006. – №89. – С.188-198.
2. Saueia, C.H.R. Distribution of natural radionuclides in the production and use of phosphate fertilizers in Brazil / Saueia C.H.R., Mazzilli B.P. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2006. – №89. – С.229-239.
3. Trevisi, R. Natural radioactivity in building materials in the European Union: A database and an estimate of radiological significance / Trevisi R. и др. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2012. – №105. – С.11-20.
4. Экологические и агроэкономические аспекты применения фосфогипса в сельском хозяйстве / Кизинек С.В., Шеуджен А.Х., Аканова Н.И. // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – Т. 2. – № 9(13). – С. 206-216.
5. Загрязнение почвенного покрова в импактной зоне предприятий по производству комплексных минеральных удобрений / А.Д. Мельникова, Д.М. Хомяков // Экологически безопасное развитие сельских территорий и сохранение водных объектов, Санкт-Петербург, 15-17 декабря 2015 года. – Санкт-Петербург: НГОУ «Институт агробизнеса, экономики и права», 2016. – С.73-75.
6. Влияние отходов Белореченского химзавода на содержание стронция в окружающих ландшафтах /Петренко Д.В., Белюченко И.С. // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2012. – №1(8). – С.4-79
7. Славгородская, М.А. Влияние фосфогипса на развитие и продуктивность кукурузы // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2011. – №3(7). – С.79-80.
8. Яковлев, А.С., Канышкин, М.А., Терехова, В.А. Экологическая оценка почвогрунтов, подверженных воздействию фосфогипса // Почвоведение. – 2013. – №6. – С. 737.