

## Миграция радиоцезия на болотных лугах: анализ на основе свойств почв

Ученые Института геохимии и аналитической химии (ГЕОХИ) им. В.И. Вернадского РАН, совместно с ВНИИРАЭ РАН, изучили вертикальную миграцию радиоцезия чернобыльского происхождения на торфяно-болотных почвах Новозыбковском района Брянской области РФ. Показано, что через значительное время после аварии на Чернобыльской АЭС часть выпавшего радиоцезия всё ещё находится в верхних корнеобитаемых слоях почв, и что для их ускоренного очищения следует проводить агромелиоративные мероприятия, направленных на усиление минерализации органического азота. Результаты опубликованы в *Environmental Geochemistry and Health*<sup>1</sup>.



Рис. 1. Болотные луга.

При эксплуатации объектов атомной энергетики всегда существует риск техногенных аварий, приводящих к неконтролируемому выбросу радиоактивных веществ. Радиоактивные вещества, попадающие в окружающую среду, включаются в биогеохимические процессы в почве и попадают в пищевую цепь человека. Опыт ликвидации последствий Чернобыльской аварии (1986г.) показал, что загрязнение радиоцезием ( $^{137}\text{Cs}$ ) органических почв является долгосрочной проблемой, поскольку этот радионуклид обладает высокой подвижностью в почвах такого типа. Обычно луга, расположенные на загрязненных торфяных почвах, интенсивно используются для выпаса скота, что приводит к загрязнению продуктов животноводства. Для разработки эффективных методов ликвидации последствий загрязнения пастбищных лугов, расположенных на торфяно-болотных почвах, необходимы теоретические знания о ключевых свойствах почв, влияющих на миграцию радионуклида.

Ученые провели исследование по изучению вертикальной миграции радиоцезия чернобыльского происхождения на торфяно-болотных почвах Новозыбковском района Брянской области РФ. Проведенное исследование показало, что через 15 лет после аварии все еще значительная часть выпавшего радиоцезия находится в верхних корнеобитаемых слоях почв (Рис. 2).

К настоящему времени общепризнано, что повышенное закрепление радиоцезия в почвах определяется наличием в них глинистых минералов типа гидрослюды, которые, присутствуя

<sup>1</sup> Konopleva, I.V., Sanzharova, N.I. Radiocaesium retention in bog meadows: an analysis based on soil properties. *Environ Geochem Health* **44**, 1245–1257 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01171-y>

даже в небольших количествах, оказывают сильное влияние на сорбционные свойства почв. Конкурирующими катионами за сорбционные места на глинистых минералах являются однозарядные ионы, имеющие близкие радиусы: цезий ( $\text{Cs}^+$ ), калий ( $\text{K}^+$ ) и аммоний ( $\text{NH}_4^+$ ).

Отличительной особенностью болотных почв является избыточная влажность, которая оказывает значительное влияние на круговорот азота в болотной среде через воздействие на структуру микробного сообщества. Нитрификация и аммонификация являются процессами, управляемыми микроорганизмами. Микроорганизмы разлагают органическое вещество почвы, превращая органический N в аммиак и аммиак в  $\text{NO}_3^-$ , но аммонификация протекает быстрее, чем нитрификация, что приводит к увеличению концентрации аммония.

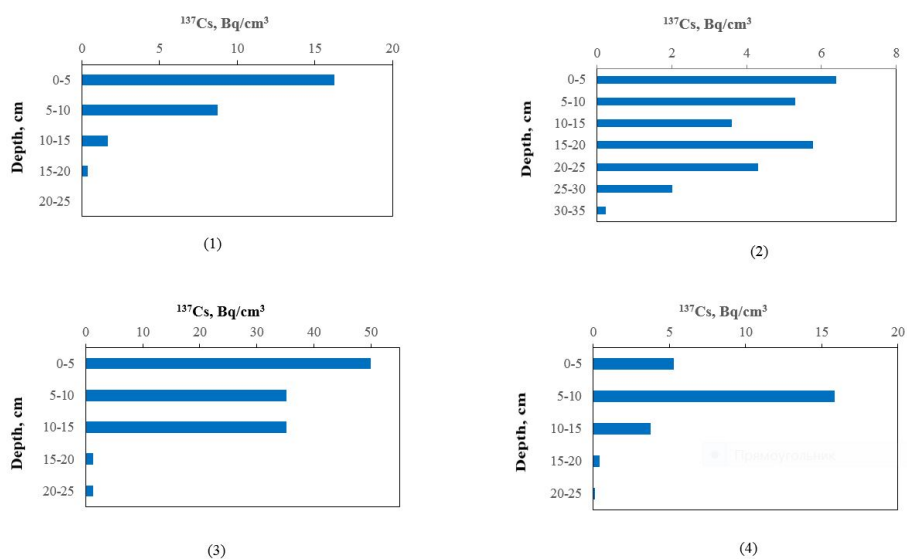
Химический анализ показал, что для радиоцезия основным конкурирующим ионом за сорбционные центры в изученных торфяно-болотных почвах является  $\text{NH}_4^+$  так как, в среднем, его концентрация в почвенном растворе существенно превышала концентрацию  $\text{K}^+$ .

Значительные количества аммония эффективно мобилизуют радиоцезий с сорбционных центров глинистых минералов почв, усиливая его вертикальную миграцию. Исследование показало, что скорость вертикальной миграции радиоцезия из верхних слоев почв прямо пропорциональна концентрации аммония в почвенном растворе.

Полученные результаты, свидетельствующие о значительном влиянии аммония на интенсивность миграции радиоцезия в болотных почвах, позволяют предположить, что для усиления вертикальной миграции радиоцезия, приводящее к ускорению процессов очищения от радионуклида верхних корнеобитаемых слоев, необходимо проведение агрономических мероприятий, направленных на усиление минерализации органического азота.

Известно, что минерализация зависит от следующих факторов: 1) влажности (микроорганизмы проявляют большую активность во влажной почве; 2) pH (в кислой среде скорость разложения органического вещества и выделения минерального азота уменьшается; 3) аэрации (в анаэробных условиях активность микроорганизмов снижается).

Таким образом, при проведении защитных мероприятий, направленных на очищение корнеобитаемого слоя торфяных болотных почв, представляется целесообразным проведение следующих агрономических мероприятий: 1) увлажнение сухих торфяников; 2) известкование почв с низким значением pH; 3) внесение азотных удобрений в виде солей аммония; 4) внесение ингибиторов нитрификации.



**Рис. 2.** Вертикальное распределение активности  $^{137}\text{Cs}$  в профиле торфяно-болотных почв. Места отбора рядом с населенными пунктами: Бабаки (1), Старый Вышков (2), Старые Бобовичи (3), Батуровка (4) Новозыбковского района Брянской области.