

СОРБЦИЯ ^{137}Cs СУГЛИНКАМИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ© 2024 г. А. А. Баклай^а, Н. А. Маковская^а, Т. Г. Леонтьева^{а, *}, Д. А. Кузьмук^а,
А. С. Онищук^а, Л. Н. Москальчук^{а, б}^аОбъединенный институт энергетических и ядерных исследований — Сосны НАН Беларуси, 220109, Минск, а/я 119^бБелорусский государственный технологический университет, 220006, Минск, ул. Свердлова, д. 13а

*e-mail: t.leontieva@tut.by

Получена 22.02.2024, после доработки 26.05.2024, принята к публикации 14.08.2024

Установлено, что содержание основных глинистых минералов в образце суглинка месторождения Фанипольское составляет (мас%): монтмориллонит 13.6, иллит 3.3. Определено, что pH раствора в диапазоне 4–12 практически не влияет на сорбцию $^{137}\text{Cs}^+$ суглинком. Коэффициент распределения (K_d) ^{137}Cs для указанного образца суглинка при содержании K^+ в растворе до 0.01 моль/дм³ составляет более 10³ дм³/кг, что свидетельствует об эффективной сорбции ^{137}Cs . Установлено, что суглинок имеет два типа сорбционных центров T_1 и T_2 , различающихся коэффициентом распределения и емкостью по отношению к Cs^+ . Значения сорбционной емкости центров T_1 и T_2 по цезию составляют 4.0·10⁻⁵ и 1.2·10⁻² моль/кг соответственно, а соответствующие значения K_d Cs для указанных центров различаются в 20 раз и составляют 1.6·10⁴ и 7.9·10² дм³/кг. Показано, что суглинок месторождения Фанипольское может быть использован в качестве буферной засыпки пункта захоронения очень низкоактивных радиоактивных отходов Белорусской АЭС.

Ключевые слова: суглинок, монтмориллонит, иллит, цезий, сорбция, сорбционные центры.**DOI:** 10.31857/S0033831124050087

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Беларуси введена в эксплуатацию Белорусская АЭС (БелАЭС) с реактором типа ВВЭР-1200, состоящая из двух энергоблоков. При ее работе образуются и накапливаются радиоактивные отходы (РАО) различного химического состава. В этой связи особую актуальность приобретает проблема их долговременной и безопасной изоляции в геологической среде. Для решения данной проблемы в Республике Беларусь разрабатывается концепция приповерхностного пункта захоронения среднеактивных, низкоактивных и очень низкоактивных РАО БелАЭС с использованием в составе инженерных барьеров глинистых материалов [1].

Согласно данным работы [2] элементами системы инженерных барьеров пункта захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) являются буферная засыпка, подстилающий и покрывающий экраны. Для их создания требуется большое количество глинистых материалов. Согласно рекомендациям МАГАТЭ, странам, эксплуатирующим АЭС, следует использовать местные глинистые материалы для снижения стоимости строительства ПЗРО [3]. В Швеции и Франции для захоронения очень низкоактивных РАО (ОНАО) в ПЗРО, расположенном в глинистых вмещающих породах (естественный барьер), в качестве материала буферной засыпки использовали песок [4]. Известно, что данный материал не является препятствием для миграции радионуклидов в буферной засыпке при захоронении ОНАО, так

как обладает низкими сорбционными свойствами по отношению к радионуклидам. Песок выполняет механическую функцию, заполняя пустоты между упаковками ОНАО во избежание проседания покрывающего экрана, и дренажную, обеспечивая отвод воды в случае ее проникновения на площадку ПЗРО.

По данным работы [1], основными радионуклидами, вносящими вклад в активность ОНАО БелАЭС, являются ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30.1$ года) и ^{60}Co ($T_{1/2} = 5.3$ года). Среди них наибольшую радиационную опасность для человека и окружающей среды представляет ^{137}Cs . При попадании грунтовой воды в пункт захоронения ОНАО сорбция ^{137}Cs материалом буферной засыпки может снизиться, в частности, за счет влияния растворенных в воде катионов.

В связи с вышеизложенным для захоронения ОНАО БелАЭС в качестве материала буферной засыпки предлагается использовать запасы местного природного сырья — суглинки, которые представляют собой глинистый материал, содержащий в своем составе 15–30 мас% глинистых минералов [5]. Буферная засыпка — материал, заполняющий пустоты между упаковками РАО, предназначенный для сорбции радионуклидов и минимизации времени контакта РАО с грунтовой водой при ее проникновении в ПЗРО [6]. Кроме этого, материал буферной засыпки в будущем должен допускать возможность простого извлечения упаковок РАО в случае ликвидации ПЗРО после принятия соответствующего решения [2]. Для выполнения указанных функций

суглинок в первую очередь должен обладать хорошими сорбционными свойствами по отношению к ^{137}Cs .

Целью данной работы является оценка возможности использования суглинок Республики Беларусь в качестве буферной засыпки для изоляции ОНАО БелАЭС.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для исследований использовали образцы суглинок, отобранные из промышленных месторождений Республики Беларусь и представленные в табл. 1.

Таблица 1. Образцы суглинок для исследований

Шифр образца	Наименование месторождения, место отбора
Ф	Фанипольское, Минская обл.
Г	Гайдуковка, Минская обл.
З	Заполье, Витебская обл.
КС	Крупейский сад, Гомельская обл.

Гранулометрический состав образцов суглинок определяли по методике, описанной в работе [7]. Минеральный состав суглинок определяли методом рентгенофазового анализа на дифрактометре Ultima-IV (Rigaku, Япония) с использованием $\text{CuK}\alpha$ -излучения, диапазон съемки 2θ от 2° до 60° , шаг $0.01\text{--}0.02^\circ$, время накопления сигнала не менее 0.3 с на точку. Для расшифровки рентгенограмм использовали программу Jade 6.5 (MDI) с порошковой базой данных PDF-2. Количественный минеральный состав образцов определяли методом Ритвельда в программном пакете PROFEX GUI для BGMN. Пороговое значение определения содержания минералов составляет $0.5\text{ мас}\%$. Содержание карбонатных минералов в образцах суглинок определяли в соответствии с ГОСТ 34467-2018 (Грунты. Методы лабораторного определения содержания карбонатов). Их исследование в суглинках проводили по трем образцам, отобранных из различных участков месторождений, и рассчитывали среднее значение величины.

Сорбционные характеристики образцов суглинок определяли на примере сорбции микроколичеств ^{137}Cs . Перед проведением исследований образцы суглинка высушивали в сушильном шкафу при температуре $105 \pm 5^\circ\text{C}$ до постоянной массы, затем растирали в ступке и просеивали через сито с размером ячеек 1 мм . Удельная активность растворов, приготовленных с добавлением радиоактивной метки ^{137}Cs , составляла $1.8 \cdot 10^6\text{ Бк/дм}^3$ (концентрация цезия $4.1 \cdot 10^{-9}\text{ моль/дм}^3$). В качестве имитатора грунтовой воды для приготовления модельных растворов использовали водопроводную воду г. Минска с содержанием катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и K^+ соответственно 54 , 17 , 8 и 4 мг/дм^3 , pH 7.8 . Модельный раствор для исследования влияния концентрации K^+

на сорбцию ^{137}Cs готовили путем растворения в водопроводной воде навесок KNO_3 марки х.ч. Ионную силу растворов (0.01 и 0.1 моль/дм^3) устанавливали с использованием NaClO_4 марки ч.д.а. Для получения необходимого значения pH применяли растворы HCl и NaOH с концентрациями 0.1 моль/дм^3 .

Эксперименты по изучению сорбции ^{137}Cs из растворов проводили методом ограниченного объема при следующих условиях: температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$, периодическое перемешивание образца с аликвотой раствора в течение 2 мин каждые 4 ч . Время взаимодействия образца с раствором составляло 72 ч , что достаточно для установления сорбционного равновесия в системе образец суглинка–раствор [8]. Исследование сорбции ^{137}Cs образцами суглинок проводили при изменении pH в интервале от 2 до 12 . По результатам экспериментов рассчитывали коэффициент распределения (K_d , $\text{дм}^3/\text{кг}$) цезия по формуле

$$K_d = \frac{A_0 - A_p}{A_p} \cdot \frac{V}{m}, \quad (1)$$

где A_0 и A_p – исходная и равновесная удельная активность ^{137}Cs в растворе, Бк/дм^3 ; V – объем раствора, дм^3 ; m – масса образца суглинка, кг .

Коэффициент распределения (K_d , $\text{дм}^3/\text{кг}$) является основным показателем, который характеризует сорбционную способность глинистых материалов по отношению к радионуклидам.

Изотермы сорбции цезия (Cs) получали при pH 7.8 и ионной силе раствора 0.01 моль/дм^3 , изменяя концентрацию цезия в растворе от 10^{-10} до 10^{-2} моль/дм^3 . Для экспериментов к раствору с радиоактивной меткой ^{137}Cs добавляли необходимое количество стабильного CsNO_3 марки х.ч. Содержание цезия в растворе (C_p , моль/дм^3) и твердой фазе образца суглинка (C_t , моль/кг) рассчитывали по формулам

$$C_p = \frac{C_0}{(1 + K_d \cdot \frac{m}{V})}, \quad (2)$$

$$C_t = K_d \cdot C_p, \quad (3)$$

где C_0 и C_p – исходная и равновесная концентрации цезия в растворе, моль/дм^3 .

Исследования проводили в трех параллельных экспериментах и рассчитывали средние значения соответствующих величин. Отношение твердой и жидкой фаз во всех экспериментах составляло 10 г/дм^3 . Жидкую и твердую фазу разделяли центрифугированием при 10000 об/мин в течение 15 мин . В полученном фильтрате определяли удельную активность ^{137}Cs прямым спектрометрическим методом по линии $E_\gamma = 662\text{ кэВ}$ с использованием универсального спектрометрического комплекса РУС-91М.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При использовании в качестве буферной засыпки суглинков они должны содержать в своем составе не более 10 мас% карбонатных минералов, чтобы не допустить проседания покрывающего экрана [9]. В табл. 2 приведены значения содержания карбонатных минералов в образцах суглинков, отобранных из промышленных месторождений Беларуси.

Таблица 2. Содержание карбонатных минералов в образцах суглинков

Шифр образца	Содержание карбонатных минералов, мас%
Ф	1.7 ± 0.3
Г	19.4 ± 1.5
З	11.6 ± 1.2
КС	1.8 ± 0.4

Как видно из табл. 2, только в образцах суглинков Ф и КС содержание карбонатных минералов составляет менее 10 мас. %. Поэтому дальнейшие исследования проводили с данными образцами суглинков.

В работе [10] показано, что материал буферной засыпки сохраняет сыпучесть и не образует монолит при длительном хранении упаковок РАО, если содержание кварца с размером частиц более 0.01 мм в его составе составляет не менее 50 мас%, а размер частиц материала не превышает 5 мм. Использование материала с такими характеристиками в качестве буферной засыпки позволяет в будущем уменьшить трудоемкость и упростить технологический процесс извлечения упаковок РАО в случае ликвидации ПЗРО. В связи с этим для образцов суглинков Ф и КС определен гранулометрический состав и содержание кварца с размером частиц более 0.01 мм. Результаты исследований гранулометрического состава образцов суглинков Ф и КС приведены в табл. 3.

Для определения содержания кварца с размером частиц более 0.01 мм в образцах Ф и КС из них выделяли фракцию с размером частиц более 0.01 мм [5] методом отмучивания [7, 11]. В результате установлено, что содержание фракции с размером частиц более 0.01 мм в образцах суглинков Ф и КС составляет 76.3 и 47.9 мас% соответственно. Содержание кварца в образцах Ф и КС и их фракциях Ф1 и КС1

с размером частиц более 0.01 мм определяли методом рентгенофазового анализа. Результаты исследований представлены в табл. 4.

Таблица 4. Минеральный состав образцов суглинков

Минерал	Содержание минерала в образцах, мас%			
	Ф	Ф-1	КС	КС-1
Монтмориллонит	13.6	3.6	27.1	0.5
Хлорит	0.7	<0.5	<0.5	<0.5
Иллит	3.3	1.7	5.7	<0.5
Каолинит	0.7	0.4	7.3	1.0
Кварц	56.9	72.1	51.4	84.7
Альбит	9.8	10.1	5.9	7.1
Микроклин	11.5	8.1	<0.5	1.2
Кальцит	1.1	0.8	0.9	0.6
Доломит	0.9	1.2	0.4	<0.5
Амфибол	1.6	1.9	<0.5	<0.5
Анализ	<0.5	<0.5	1.1	3.1
Рутит	0.2	<0.5	<0.5	0.7

Исходя из полученных данных рассчитывали содержание кварца с размером частиц более 0.01 мм в образцах Ф и КС. Согласно расчету, содержание кварца с размером частиц более 0.01 мм в образцах суглинков Ф и КС составляет 55.0 и 40.6 мас% соответственно. Из полученного расчета следует, что только характеристики образца суглинка Ф полностью отвечают критериям, приведенным в работе [10] (содержание кварца с размером частиц более 0.01 мм составляет более 50 мас%, а размер частиц материала — менее 5 мм).

Одним из основных требований к материалу при создании инженерного барьера является эффективная сорбция им радионуклидов [12]. Согласно табл. 4, основными глинистыми минералами в образце суглинка Ф являются монтмориллонит и иллит, содержание которых составляет 13.6 и 3.3 мас% соответственно. По данным работ [13, 14], именно эти минералы в основном ответственны за сорбцию ^{137}Cs глинистыми материалами.

В работах [8, 15, 16] показано, что pH раствора оказывает влияние на сорбцию радионуклидов глинистыми материалами, поэтому далее проведены эксперименты по изучению влияния pH раствора на сорбцию ^{137}Cs образцом суглинка Ф. На рис. 1

Таблица 3. Гранулометрический состав образцов суглинков

Шифр образца	Содержание фракции с размером частиц (мм), %										
	5–10	2–5	1–2	0.5–1	0.25–0.5	0.1–0.25	0.5–0.1	0.01–0.05	0.005–0.01	0.002–0.005	менее 0.002
Ф	—	0.7	0.7	1.4	2.5	2.9	27.0	41.1	9.6	1.9	12.2
КС	0.8	0.5	2.5	6.8	5.3	9.3	13.7	9.0	5.8	7.1	39.2

представлена зависимость $\lg K_d$ ^{137}Cs для образца суглинка Ф от рН при разных значениях ионной силы раствора (I , моль/дм³).

Из рис. 1 видно, что значения $\lg K_d$ ^{137}Cs в диапазоне рН от 4 до 12 практически не изменяются в пределах погрешности эксперимента и снижаются при рН < 4. Согласно работе [13], катион цезия является слабо гидролизуемым катионом, не склонным к образованию комплексов и существующим в растворе в широком диапазоне рН в виде Cs^+ . Снижение значений $\lg K_d$ ^{137}Cs при рН < 4, по-видимому, связано с конкуренцией $^{137}\text{Cs}^+$ за места сорбции на образце суглинка Ф как с высвобождающимися катионами при растворении карбонатных минералов (табл. 4), входящих в состав суглинка, так и с H^+ . Значение $\lg K_d$ ^{137}Cs уменьшается с ростом ионной силы раствора (рис. 1), что согласуется с описанным в работе [13] ионообменным механизмом взаимодействия цезия с глинистыми минералами иллитом и монтмориллонитом.

В случае попадания грунтовой воды в пункт захоронения ОНАО сорбция ^{137}Cs на образце суглинка может снизиться за счет влияния содержащихся в ней катионов. В работах [8, 15] установлено, что катион K^+ , являясь геохимическим аналогом цезия, оказывает наибольшее влияние на K_d ^{137}Cs в глинистых материалах по сравнению с другими катионами грунтовой воды (Na^+ , Ca^{2+} и Mg^{2+}). Концентрация калия в грунтовых водах может меняться в достаточно широких пределах — от 0.5 до 25 ммоль/дм³ [8]. В связи с этим изучено влияние концентрации K^+ в диапазоне от 1 до 100 ммоль/дм³ на сорбцию ^{137}Cs образцом суглинка Ф. На рис. 2 приведена зависимость K_d ^{137}Cs от исходной концентрации K^+ в растворе (C_K , моль/дм³) в билогарифмических координатах.

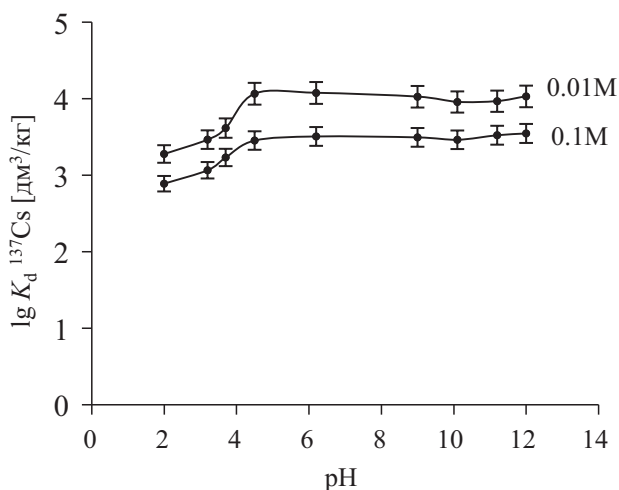


Рис. 1. Зависимость $\lg K_d$ ^{137}Cs от рН раствора для образца суглинка месторождения Фанипольское, $I = 0.01$ и 0.1 моль/дм³ NaClO_4 , $[\text{суглинок}] = 10$ г/дм³, исходная концентрация $C_0(^{137}\text{Cs}) = 4.1 \cdot 10^{-9}$ моль/дм³.

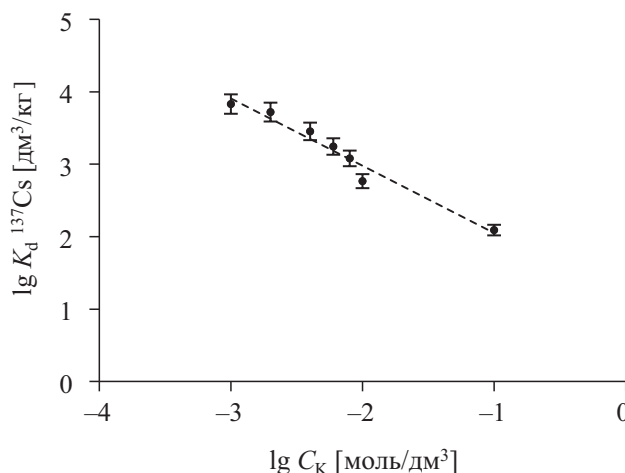


Рис. 2. Зависимость $\lg K_d$ ^{137}Cs от концентрации K^+ в растворе для образца суглинка месторождения Фанипольское, рН 7.8 ± 0.1 , $[\text{суглинок}] = 10$ г/дм³, исходная концентрация $C_0(^{137}\text{Cs}) = 4.1 \cdot 10^{-9}$ моль/дм³.

Установлено, что для образца суглинка Ф значения K_d ^{137}Cs закономерно снижаются в интервале от 7.9×10^3 до 1.3×10^2 дм³/кг при увеличении концентрации в растворе конкурирующего с Cs^+ катиона K^+ от 1 до 100 ммоль/дм³. Полученная на рис. 2 зависимость представляет собой прямую линию, что свидетельствует об ионообменном характере сорбции ^{137}Cs образцом суглинка Ф. Как видно из рис. 2, эффективная сорбция ^{137}Cs (K_d $^{137}\text{Cs} > 10^3$ дм³/кг) образцом суглинка Ф наблюдается при концентрации K^+ в растворе не более 10 ммоль/дм³.

Радионуклид ^{137}Cs образуется на АЭС при делении топлива на основе урана и является основным компонентом очень низко-, низко-, средне- и высокоактивных РАО. Согласно документу [17], к ОНАО относятся твердые РАО, если удельная активность бета-излучающих радионуклидов не превышает 10^3 Бк/г, что соответствует 2.3×10^{-12} моль/г ^{137}Cs . Категоризация РАО как НАО, САО и ВАО осуществляется при удельной активности бета-излучающих радионуклидов соответственно равной 10^3 – 10^4 , 10^4 – 10^7 и более 10^7 Бк/г.

В работах [13, 18, 19] показано, что не только иллит, но и монтмориллонит имеет два типа сорбционных центров, различающихся коэффициентом распределения по отношению к ^{137}Cs . На рис. 3 представлена изотерма сорбции цезия (Cs) для образца суглинка Ф в виде зависимости K_d Cs от его равновесной концентрации в растворе (C_p , моль/дм³) в билогарифмических координатах, которая охватывает весь диапазон удельной активности ОНАО, НАО и САО.

Перегибы на изотерме сорбции Cs (рис. 3) свидетельствуют о том, что образец суглинка Ф имеет два типа сорбционных центров T_1 и T_2 , различающихся коэффициентом распределения цезия. При

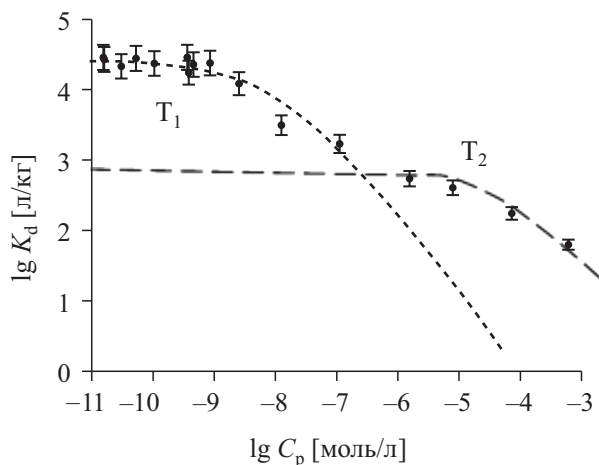


Рис. 3. Изотерма сорбции Cs образцом суглинка месторождения Фанипольское, pH 7.8 ± 0.1 , [суглинок] = 10 г/дм^3 , $I = 0.01 \text{ моль/дм}^3$ (NaClO_4).

низких концентрациях Cs^+ в растворе он сорбируется на центрах T_1 , которые по мере роста концентрации Cs в растворе насыщаются, и в сорбции начинают принимать участие центры T_2 . Максимальные емкости центров T_1 и T_2 образца суглинка Ф по Cs, определенные с использованием равновесной концентрации Cs в растворе, когда K_d Cs начинает линейно уменьшаться в соответствии с изотермой Ленгмюра по формуле (3), составляют 4.0×10^{-5} и 1.2×10^{-2} моль/кг соответственно, а значения K_d Cs центров T_1 и T_2 различаются в 20 раз и составляют 1.6×10^4 и $7.9 \times 10^2 \text{ дм}^3/\text{кг}$.

Таким образом, суглинок месторождения Фанипольское обладает хорошими сорбционными свойствами по отношению к ^{137}Cs для предотвращения его миграции из пункта захоронения ОНАО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований установлено, что содержание основных глинистых минералов монтмориллонита и иллита в образце суглинка месторождения Фанипольское составляет 13.6 и 3.3 мас% соответственно.

Значения коэффициента распределения K_d ^{137}Cs для образца суглинка месторождения Фанипольское практически не изменяются при pH раствора в диапазоне значений 4–12 и снижаются при увеличении ионной силы раствора, что говорит об ионообменном механизме сорбции ^{137}Cs на суглинке. Значения K_d ^{137}Cs при содержании K^+ в растворе до 0.01 ммоль/дм^3 составляют более $10^3 \text{ дм}^3/\text{кг}$, что свидетельствует об эффективной сорбции ^{137}Cs данным образцом суглинка. Показано, что образец суглинка имеет два типа сорбционных центров — T_1 и T_2 , различающихся коэффициентом распределения и емкостью по отношению к Cs^+ . Значения

сорбционной емкости центров T_1 и T_2 по цезию составляют 4.0×10^{-5} и 1.2×10^{-2} моль/кг соответственно, а значения K_d Cs для указанных центров различаются в 20 раз и составляют 1.6×10^4 и $7.9 \times 10^2 \text{ дм}^3/\text{кг}$ соответственно.

По результатам комплексных исследований образцов суглинков Республики Беларусь можно заключить, что суглинок месторождения Фанипольское может быть использован в качестве буферной засыпки при изоляции очень низкоактивных радиоактивных отходов Белорусской АЭС.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Крупской В.В. и Белоусову П.Е. за помощь в проведении анализа минерального состава суглинков.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жемжуров М.Л., Кузьмина Н.Д. // Изв. НАН Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. 2022. Т. 67. № 1. С. 105.
2. Варлакова Г.А., Осташкина Е.Е., Голубева З.И. // Радиохимия. 2013. Т. 55. № 6. С. 549.
3. Procedures and Techniques for Closure of Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste: IAEA-TECDOC-1260. Vienna: IAEA, 2001. 96 p.
4. Павлов Д.И., Ирошников В.В., Максименко Д.А., Демин А.В., Сыченко Д.В. // Радиоактивные отходы. 2022. № 1(18). С. 91.
5. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств. М.: ГЕОС, 2013. 578 с.
6. Павлов Д.И., Ильина О.А. // Радиоактивные отходы. 2020. № 3(12). С. 54.
7. Сабодина М.Н., Захарова Е.В., Калмыков С.Н., Похолок К.В., Меняйло А.А. // Радиохимия. 2008. Т. 50. № 1. С. 81.
8. Баклай А.А., Маковская Н.А., Леонтьева Т.Г., Кузьмук Д.А., Москальчук Л.Н. // Радиохимия. 2022. Т. 64. № 2. С. 193.
9. Линге И.И., Иванов А.Ю., Казаков К.С. // Радиоактивные отходы. 2018. № 4(5). С. 33.
10. Баринев А.С., Пантелеев В.И., Варлакова Г.А., Голубева З.И., Осташкина Е.Е. Патент RU 2419901 от 27.05.2011 // Б.И. 2011. № 15.
11. Милютин В.В., Гелис В.М., Некрасова Н.А., Кононенко О.А., Везенцев А.И., Воловичева Н.А., Королькова С.В. // Радиохимия. 2012. Т. 54. № 1. С. 71.
12. Милютин В.В., Некрасова Н.А., Белоусов П.Е., Крупская В.В. // Радиохимия. 2021. Т. 63. № 6. С. 510.

13. Missana T., García-Gutiérrez M., Benedicto A., Ayora C., De-Pourcq K. // *Appl. Geochem.* 2014. Vol. 47. P. 177.
14. Missana T., Benedicto A., García-Gutiérrez M., Alonso U. // *Geochem. Cosmochim. Acta.* 2014. Vol. 128. P. 266.
15. Robin V., Terte E., Beaufort D., Regnault O., Sardini P., Descostes M. // *Appl. Geochem.* 2015. Vol. 59. P. 74.
16. Баклай А.А., Маковская Н.А., Леонтьева Т.Г., Кузьмук Д.А. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21. № 2. С. 245.
17. Положение о порядке и критериях отнесения радиоактивных отходов к классам радиационной опасности: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 21.08.2020, № 497. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22000497>
18. Семенкова А.С., Полякова Т.Р., Романчук А.Ю., Короб Д.Р., Серегина И.Ф., Михеев И.В., Крупская В.В., Калмыков С.Н. // *Радиохимия.* 2019. Т. 61. № 5. С. 433.
19. Semenkov A.S., Evsiunina M.V., Verma P.K., Mohapatra P.K., Petrov V.G., Seregina I.F., Bolshov M.A., Krupskaya V.V., Romanchuk A.Yu., Kalmykov S.N. // *Appl. Clay Sci.* 2018. Vol. 166. P. 88.

^{137}Cs Sorption on the Loams of the Republic of Belarus

A. A. Baklay^a, N. A. Makovskaya^a, T. G. Leontieva^{a, *}, D. A. Kuzmuk^a,
A. S. Onischuk, and L. N. Maskalchuk^{a, b}

^aJoint Institute for Power and Nuclear Research—Sosny, Minsk, 220109 Belarus

^bBelarusian State Technological University, Minsk, 220006 Belarus

*e-mail: t.leontieva@tut.by

Received February 22, 2024; revised May 26, 2024; accepted August 14, 2024

It has been established that the content of the main clay minerals in the loam sample from the Fanipolskoye deposit is 13.6 wt % for montmorillonite and 3.3 wt % for illite. It was determined that the pH of solution in the range of 4–12 has virtually no effect on $^{137}\text{Cs}^+$ sorption by the loam. The distribution coefficient (K_d) of ^{137}Cs for the specified loam sample with a K^+ concentration in the solution of up to 0.01 mol/dm^3 is higher than $10^3 \text{ dm}^3/\text{kg}$, which indicates that the ^{137}Cs sorption is efficient. The loam contains two types of sorption sites, T_1 and T_2 , with different selectivity and capacity toward Cs^+ . The sorption capacities of sites T_1 and T_2 for Cs are 4.0×10^{-25} and $1.2 \times 10^{-2} \text{ mol/kg}$, respectively, and the values of K_d Cs for these sites differ by a factor of 20 and are 1.6×10^4 and $7.9 \times 10^2 \text{ dm}^3/\text{kg}$. It is shown that the loam from the Fanipolskoye deposit is suitable as a buffer backfill for the disposal site of very low-level radioactive waste from the Belarusian NPP.

Keywords: loam, montmorillonite, illite, cesium, sorption, sorption sites