

УТИЛИЗАЦИЯ И ЗАХОРОНЕНИЕ ОТХОДОВ

УДК 549.08

НОВООБРАЗОВАННЫЙ СМЕКТИТ КАК ИНДИКАТОР ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКОРЕАКЦИОННЫХ РАСТВОРОВ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ ЖИДКИЕ РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ

© 2016 г. В. В. Крупская***, С. В. Закусин***, А. П. Жухлистов*,
О. В. Доржиева****, В. В. Судьин****, Л. Ю. Крючкова*****, А. А. Зубков*****

**Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии
и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН),*

Старомонетный пер., д. 35, Москва, 119017 Россия. E-mail: krupskaya@ruclay.com

***Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, геологический факультет,
Ленинские горы, д. 1, Москва, 119991 Россия. E-mail: zakusinsergey@gmail.com*

****Геологический институт Российской академии наук,*

Пыжевский пер., д. 7, Москва, 119017 Россия. E-mail: dorzhievaov@gmail.com

*****Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова,*

Ленинский пр., д. 49, Москва, 119991 Россия. E-mail: sudin.vlad@gmail.com

******Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ),*

Ресурсный центр «Геомодель»,

ул. Ульяновская, д. 1, Санкт-Петербург, 198504 Россия. E-mail: 2106@list.ru

******ОАО «Сибирский химический комбинат» (ОАО СХК),*

ул. Курчатова, д. 1, г. Северск, Томская обл., 636039 Россия. E-mail: geomon97@mail.ru

Поступила в редакцию 15.02.2016 г.

В результате воздействия жидких радиоактивных отходов (ЖРО) при закачке в глубокозалегающие песчаные пласты-коллекторы происходит преобразование порового пространства, формируется аутигенный («техногенный») смектит, который отличается от «диагенетического» составом, недосыщением межслоевых катионов и микроморфологией агрегатов. Выявленные признаки «техногенного» смектита позволяют использовать его в качестве индикатора преобразований геологической среды при захоронении ЖРО.

Ключевые слова: смектит, аутигенное глинообразование, пески-коллекторы, жидкие радиоактивные отходы.

ВВЕДЕНИЕ

Захоронение жидких радиоактивных отходов (ЖРО) путем их закачки в глубокозалегающие горизонты, изолированные от окружающих пород глинистыми слоями, — один из способов окончательной изоляции отходов низкого и среднего уровней активности, применяемых в России [7, 11]. Сходное по принципу захоронение отходов в геологическую среду используется в различных отраслях промышленности (фармакологической, химической, нефтегазовой), в том числе и за рубежом.

На полигоне «Северский» (Северск, Томская обл.) захораниваются ЖРО АО «Сибирский хи-

мический комбинат». Захоронение производится через систему нагнетательных скважин в водонасыщенные песчано-алевритовые горизонты кампанского и сантонского возрастов нижней части чехла южной окраины Западно-Сибирской платформы на глубину 300–350 м [5, 11]. Пласты-коллекторы подстилаются и перекрываются алевро-глинистыми водоупорами. Жидкие РАО представляют собой термодинамически неравновесные щелочные (содержание NaOH до 150 г/л), слабощелочные (рН 8–10.5) и кислые (рН 2–2.5) растворы с суммарным содержанием солей до 300 г/л. Катионный состав растворов определяется натрием, аммонием и щелочноземельными металлами, анионный — нитратом, сульфатом,

хлоридом и бикарбонатом. Растворы содержат продукты коррозии, незначительные количества фосфорсодержащих соединений и кремния в виде ортокремневой кислоты; кислые растворы содержат азотную и уксусную кислоты; радионуклиды представлены продуктами активации, деления, следовыми количествами урана и трансурановых нуклидов [5]. При поступлении ЖРО в пласт-коллектор формируется специфическая техногенно-природная система, в которой преобразуются все входящие в нее компоненты: минеральные частицы, поровая вода, растворенные компоненты, остатки микроорганизмов.

Цель исследования – выявление особенностей преобразования минерального состава пород подземного хранилища, вмещающего радиоактивные растворы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Образцы для исследования отобраны из 5 наблюдательных скважин, расположенных в 110–180 м от нагнетательных скважин, где радиационный фон подземного хранилища минимизирован [5]. Таким образом, в работе рассматривается влияние на изменение пласта-коллектора фильтратов ЖРО, уже частично преобразованных в прискважинной области. Такие растворы охватывают существенные объемы подземного хранилища. Дополнительно исследовались образцы пластов-коллекторов за пределами воздействия ЖРО и из перекрывающего водоупорного горизонта. Исследования образцов, полученных из участков длительного воздействия на породы подземного хранилища радиоактивных растворов, проводятся нечасто [4], но они ценны, поскольку представляют редкую возможность оценить реальные изменения геологической среды, что важно при прогнозировании длительных последствий захоронения ЖРО.

В качестве методов исследования использованы гранулометрический анализ водно-ситовым методом [2], рентгеновская дифракция [13] при помощи рентгеновского дифрактометра Ultima-IV (фирма Rigaku), приобретенного в рамках реализации Программы развития МГУ имени М. В. Ломоносова, рентгеновская микротомография (нанотомограф SkyScan 2011, Бельгия, исследования выполнены в Ресурсном центре «Геомодель» Научного парка СПбГУ), сканирующая электронная микроскопия [8] на приборе LEO SUPRA 50 VP (Германия) с использованием энергодисперсионного анализатора X-MAX 80 (Oxford Inst.), аналитическая просвечивающая электронная микроскопия с использованием установки JEM-2100 (Jeol, Япония).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нагнетание ЖРО происходит в пески кампанского и сантонского возрастов [1, 3, 9, 10], которые отличаются довольно неоднородным литологическим и гранулометрическим составом. Подстилающими водоупорными породами служат алевроглины мелового возраста, а также более древние коры выветривания триасово-юрского возраста [11]. За пределами полигона одновозрастные пластам-коллекторам породы представлены песками, алевро-песками, песчаными и глинистыми алевролитами.

Техногенные процессы являются наложенными по отношению к геологическим процессам, обусловленным погружением, изменением состава поровых вод, увеличением внутрипластового давления и т.д., и, следовательно, одна из задач данного исследования – выявление признаков проявления геологических и техногенных процессов, сравнительная характеристика их влияния на облик пород.

В целом пески-коллекторы можно охарактеризовать как сильно преобразованные и в достаточной степени рыхлые породы. На томографических сечениях различаются сильно измененные зерна полевого шпата, имеющие неотчетливо проявленные кавернозные границы, слабоизмененные зерна кварца и небольшое количество высокопоглощающих минералов (сидерит и др.), все межзерновое пространство заполнено рыхлым глинистым цементом (рис. 1).

На основании изучения гранулометрического состава пласты-коллекторы подразделяются на две разности (рис. 2): хорошо сортированные пески (содержание песчаной фракции (2–0.05 мм) – 86.8%, алевроитовой (0.05–0.005 мм) – 8.4%, глинистой (<0.005 мм) – 4.5%) и плохо сортированные алевро-пески (песчаной фракции – 65.9%, алевроитовой – 17.3%, глинистой – 16.5%). Водоупорные горизонты представлены хорошо сортированными алевроитистыми глинами с содержанием песчаной фракции – 3.7%, алевроитовой – 33.6%, глинистой – 62.5%. Увеличение среднего размера зерен и повышение степени сортировки обеспечивают улучшение фильтрационно-емкостных характеристик песков по сравнению с алевро-песками. При этом увеличение доли глинистой компоненты в алевро-песках увеличит долю сорбированных компонентов и обеспечит долговременную безопасность хранилища.

По минеральному составу пески и алевро-пески пластов-коллекторов – поликомпонентные

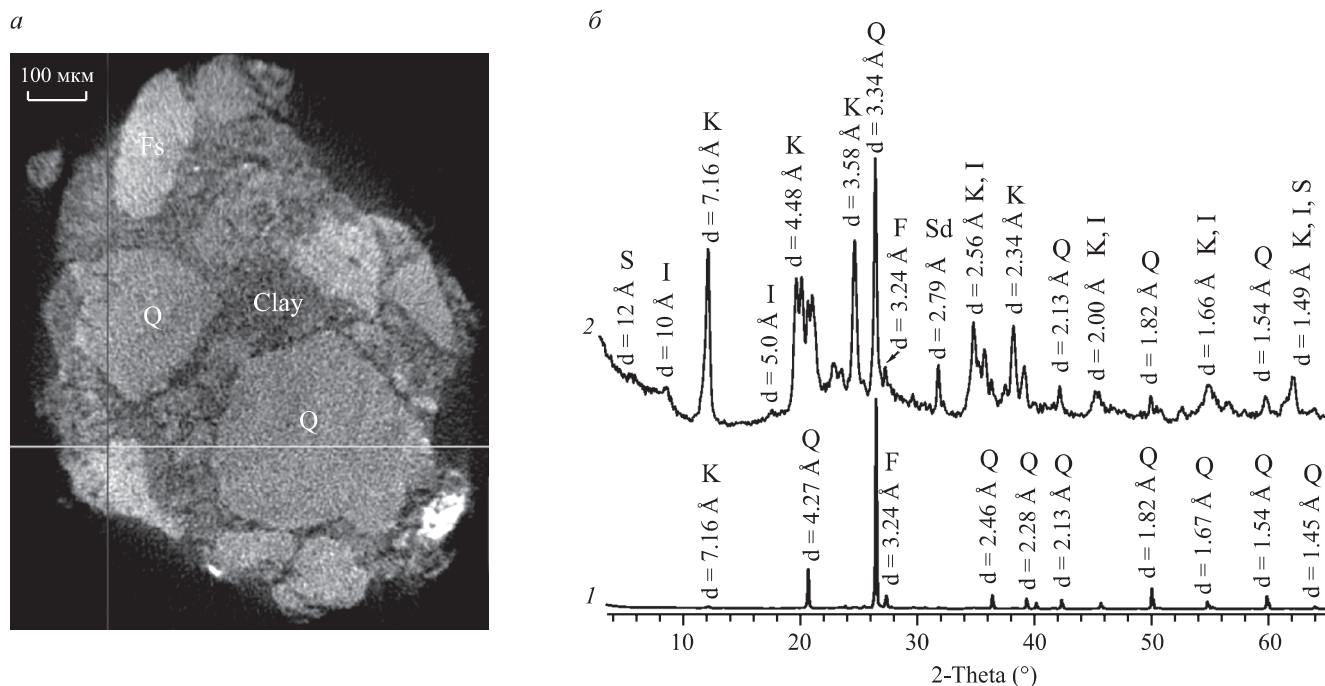


Рис. 1. Микростроение образца песков-коллекторов, полученное методами рентгеновской микротомографии (а), Q – зерна кварца, Clay – глинистый цемент и рентгеновские дифракционные картины (б) валовой фракции (нижний спектр) и глинистой фракции (верхний спектр) песков коллекторов, S – смектит, I – иллит, K – каолинит, F – полевые шпаты, Sd – сидерит

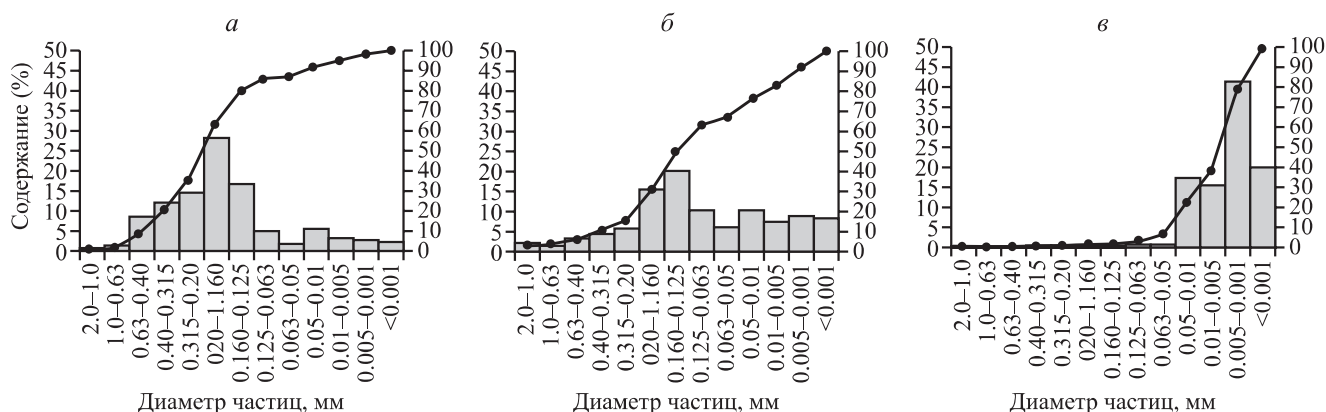


Рис. 2. Распределение гранулометрических фракций и кумулятивные кривые: а) песков-коллекторов, б) алевро-песков-коллекторов, в) водоупорных горизонтов.

смеси с преобладанием кварца и содержанием глинистых минералов порядка 20–25%. Водоупорные горизонты отличаются значительным увеличением содержания глинистых минералов до 50–55%. Минеральный состав пластов-коллекторов довольно стабилен ввиду низкого содержания глинистых минералов в целом. При этом составы глинистой фракции различных типов песков различаются соотношением глинистых минералов. Для хорошо сортированных песков характерно преобладание иллита (53%) при почти близких содержаниях каолинита и смектита (21 и 18% соответственно). В составе глинистых

фракций алевро-песков близкие и довольно высокие содержания иллита и каолинита (33 и 37% соответственно) при содержании смектита 22%.

Глинистые минералы могут быть очень чувствительны к изменению окружающей среды (температуры, солёности, pH-Eh условий и т.д.) и часто используются в качестве индикаторов различных геологических и техногенных процессов. При этом далеко не все глинистые минералы в составе цемента являются новообразованными. Важную роль в установлении генезиса глинистых минералов играют исследования

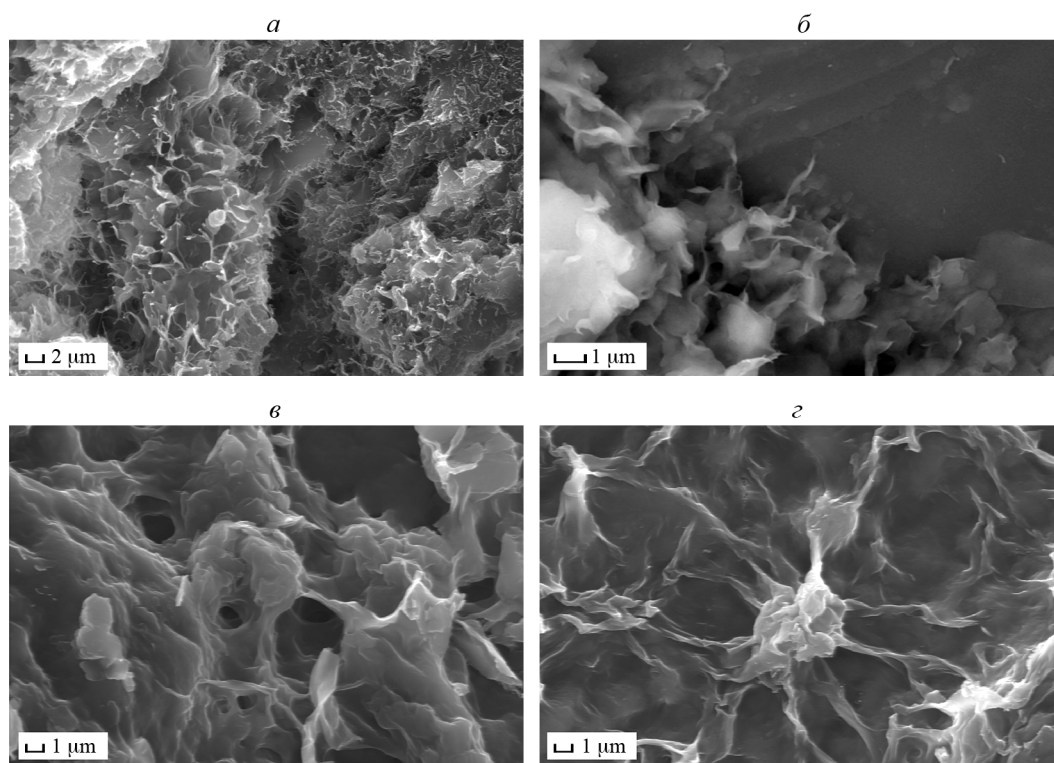


Рис. 3. Микроморфология выделения смектитовых частиц и микроагрегатов. Смектит, сформированный: *а, б* – в ходе диа- и катагенеза, *в, з* – в результате воздействия растворов, сопровождающих жидкие радиоактивных отходы.

методами сканирующей электронной микроскопии, которые позволяют изучить микроморфологию отдельных частиц и ультрамикроагрегатов глинистых частиц, их поведение в поровом пространстве и взаимоотношение со «скелетом» породы – зернами кварца и полевых шпатов.

Переотложенные вместе с другими минералами глинистые минералы представлены довольно крупными частицами и агрегатами с нечеткими вследствие трения друг о друга в седиментационном потоке гранями. С другой стороны, частицы новообразованных в поровом пространстве, например смектитов и каолинитов, характеризуются тонкими агрегатами, ненарушенными сколами и отчетливыми гранями [6].

В поровом пространстве как песков пластов-коллекторов, так и водоупорных горизонтов каолиниты представлены крупными изометричными агрегатами, иллиты более мелкими изометричными агрегатами. Морфология, форма выделения и характер граней (нечеткие и со слабым контрастом на микрофотографиях) подтверждают терригенный (переотложенный) генезис каолинита и подавляющей доли иллита, которые образовались, вероятно, за счет размыва и переотложения материала древних кор выветривания.

Минералы группы смектита содержат в составе поглощенного комплекса молекулы воды и гидратированные катионы и наиболее чувствительны к изменению окружающей среды. По своей природе минералы группы смектита в пластах-коллекторах и водоупорных горизонтах могут иметь как терригенный генезис, так и аутигенный генезис, т.е. образоваться в результате постседиментационных процессов или/и наложенных техногенных процессов в ходе эксплуатации пластов-коллекторов.

Выделения смектита в песках-коллекторах и одновозрастных породах за пределами влияния ЖРО отличаются своими морфометрическими показателями микроагрегатов частиц. Для смектитов из песчано-алевритовых одновозрастных коллекторов пород за пределами влияния ЖРО характерны мелкие размеры микроагрегатов с тонкими отдельными частицами и ажурной микроструктурой (рис. 3а, б).

Подобные формы отмечаются и в образцах песков и алевро-песков, испытывавших влияние ЖРО, но встречаются они довольно редко. Основные выделения смектитов здесь представлены крупными микроагрегатами с неразличимыми отдельными частицами и специфическими удлиненными туннельно-образными порами (рис. 3в, з). Срав-

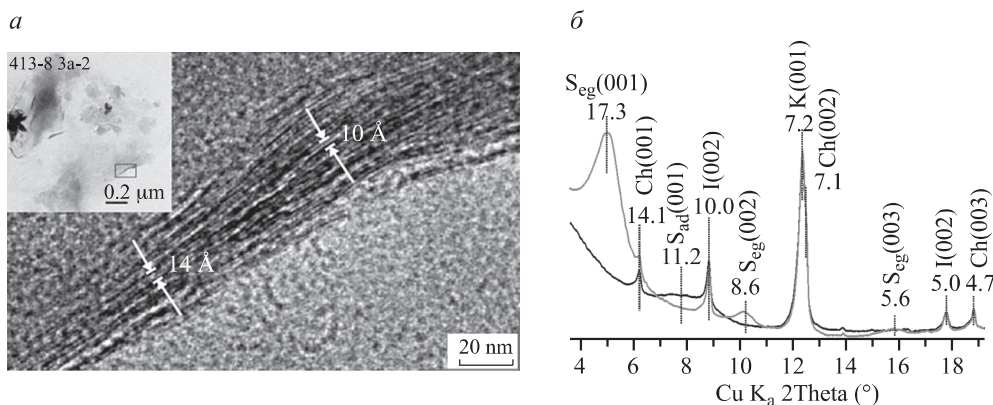


Рис. 4. Детальная характеристика глинистой фракции песков коллекторов: *a* – изображение высокого разрешения от загнутого края частицы (положение фрагмента показано во врезке) монтмориллонита, *б* – фрагменты рентгенодифракционных картин от ориентированных препаратов в воздушно-сухом состоянии (черная линия) и после насыщения этиленгликолем (серый спектр), и расшифровка основных базальных отражений, межплоскостные расстояния даны в ангстремах, (001) – порядок базального отражения, S – смектит, I – иллит, K – каолинит, Ch – хлорит.

нительный анализ большого количества образцов позволяет заключить, что во всех случаях смектит имеет аутигенную природу, но условия формирования и возраст этих образований различны. Тонкие агрегаты с отдельными различимыми частицами смектита в породах за пределами влияния ЖРО и в пластах-коллекторах образовались в результате действия постседиментационных процессов. Подобная морфология в целом характерна для диагенетических образований палеоценового и мелового возраста Западной Сибири и Арктического бассейна [6]. Крупные агрегаты плотных смектитов с туннельно-образными порами появились под воздействием ЖРО.

Полученные при помощи методов просвечивающей высокоразрешающей электронной микроскопии (ПВЭМ) изображения на уровне кристаллической структуры (рис. 4*a*), позволяют рассчитать межплоскостные расстояния со значениями ~ 10 Å, 10.8–11.2 Å и 14.5–14.7 Å, которые соответствуют смектитам с разной степенью дегидратации и разным составом поглощенного комплекса.

При этом было отмечено, что слои с $d_{001} = 9.9$ – 10.0 Å образуют пачки из 2–4 слоев, тогда как слои с $d_{001} = 14.5$ – 14.7 Å одиночны и представляют собой небольшие по длине фрагменты. В подтверждение наблюдаемого переслаивания пачек слоев с разными межплоскостными расстояниями было проведено математическое моделирование рентгенодифракционных картин от ориентированных препаратов глинистых минералов в воздушно-сухом и насыщенном этиленгликолем состояниях (рис. 4*б*) в программном продукте Sybilla, любезно предоставленном компанией Chevron для академических целей. В результате

моделирования выявлено, что 70% пакетов смектита относятся к 2W модификации (содержащей два слоя воды в межслоевом пространстве) со средней толщиной пакета порядка 14.5 Å, 8% пакетов – к 1W смектиту со средней толщиной пакета 12.5 Å и 22% пакетов – к 0W (обезвоженной) модификации со средней толщиной пакета – 10.5 Å.

Различная толщина пакетов связана не только с разной степенью гидратации смектитового межслоя [13], но и, при условии стабильной влажности во время проведения всего эксперимента, с характером межслоевых гидратированных катионов. 2W смектит в большей степени может быть ассоциирован с двухвалентными катионами (Ca, Mg и др.), 1W – с одновалентными катионами (Na, K и др.), 0W – с недосыщением катионами. Таким образом, сформированный под действием техногенных процессов смектит отличается не только микростроением, но также структурой и составом поглощенного комплекса.

Условно названный «диагенетический» смектит массово присутствует только в техногенно неизмененных породах, а поровое пространство песков и алевро-песков в пределах области изменений содержит как «диагенетический» смектит, так и крупные агрегаты аутигенного («техногенного») смектита, который образовался в результате воздействия ЖРО. Визуальный анализ позволяет судить, что не менее 70% смектита в песках и алевро-песках пласта-коллектора, испытавших влияние ЖРО, относятся к «техногенному». Учитывая, что закачки ЖРО на полигоне начались с 1963 г., за это время в поровом пространстве синтезировалось порядка 0.7 вес.% «техногенного» смектита. Это небольшое количество смек-

тата не повлияет на проницаемость коллектора, однако с учетом его расположения в каналах миграции растворов и продолжающегося процесса формирования «техногенный» смектит может существенно повлиять на сорбционные свойства пород в целом. Сорбционная способность песков-коллекторов со временем будет неравномерно возрастать в зависимости от скорости синтеза «техногенного смектита».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В поровом пространстве песков-коллекторов, служащих пластами для закачки жидких радиоактивных отходов, синтезируются смектитовые фазы – «техногенные смектиты».

Микроморфология и состав новообразованных «техногенных» и «диагенетических» смектитов, образованных в ходе постседиментационных процессов, различаются, что позволяет проводить их раздельную идентификацию в поровом пространстве терригенных пород.

«Техногенный» смектит характеризуется специфическим составом и строением, а также недо-насыщением межслоевых катионов.

В результате воздействия высокореакционных растворов на пласт-коллектор в незначительной степени понижается пористость песков и более значительно увеличивается сорбционная емкость песков-коллекторов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-05-00297.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова Л. Н., Глинский М. Л., Зубков А. А. и др. Мониторинг состояния недр на полигоне захоронения ЖРО // Безопасность окружающей среды. Транспортирование радиоактивных материалов. 2009. № 4. С. 66–71.
2. Андреева И. А., Лапина Н. Н. Гранулометрический анализ донных осадков Мирового океана. Методические рекомендации. М.: ВИМС, ВНИИОкеангеология, 2001. 38 с.
3. Гудымович С. С., Рычкова И. В., Рябчикова Э. Д. Геологическое строение окрестностей г. Томска (территории прохождения геологической практики): уч. пос. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. 84 с.
4. Захарова Е. В., Зубков А. А. Поведение радионуклидов в подземных горизонтах // Российский химический журнал. 2010. Т. LIX. № 3. С. 129–136.

5. Зубков А. А., Захарова В. Е., Макарова О. В. и др. Преобразование системы раствор–порода при захоронении жидких РАО низкого уровня активности ОАО «СХК» в песчаные пласты-коллекторы // Матер. Российской конф. «Фундаментальные аспекты безопасного захоронения РАО в геологических формациях», Москва, 15–16 октября 2013 г. М.: Издат. группа «Граница», 2013. С. 54–56.
6. Крупская В. В., Крылов А. А., Соколов В. Н. Глинистые минералы как индикаторы условий осадконакопления на рубежах мел-палеоцен-эоцен на хребте Ломоносова (Северный Ледовитый океан) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 2(88). С. 23–35.
7. Лаверов Н. П., Величкин В. И., Омельяненко Б. И. и др. Изменение окружающей среды и климата. Т. 5. Изоляция отработавших ядерных материалов: геолого-геохимические основы. М.: ИГЕМ РАН, ИФЗ РАН, 2008. 280 с.
8. Осипов В. И., Соколов В. Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств. М.: Изд-во ГЕОС, 2013. 576 с.
9. Подобина В. М., Ксенева Т. Г. Биостратиграфия славгородского горизонта (сантон – нижний кампан) юго-востока Западной Сибири // Вестник Томск. гос. ун-та. 2011. № 342. С. 205–213.
10. Подобина В. М. Биостратиграфия и фораминиферы сантон-кампан-маастрихтских отложений Западной Сибири // Вестник Томск. гос. ун-та. 2014. № 379. С. 196–199.
11. Рыбальченко В. Д., Пименов М. К., Костин П. П. и др. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов. М.: ИздАТ, 1995. 256 с.
12. Ferrage E., Lanson B., Michot L. J. et al. Hydration properties and interlayer organization of water and ions in synthetic Na-smectite with tetrahedral charge. Part I. Results from X-Ray diffraction profile modeling // J. Phys. Chem. C. 2010. V. 114. P. 4514–4526.
13. Moore D. M. & Reynolds R. C. Jr. X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. Oxford: Univ. Press., 2nd ed., 1997. 378 p.

REFERENCES

1. Aleksandrova, L.N., Glinskii, M.L., Zubkov, A.A., et al. *Monitoring sostoyaniya nedr na poligone zakhoroneniya ZhRO* [The monitoring of subsurface condition at the disposal site of liquid radioactive waste] *Bezopasnost' okruzhayushchei sredy. Transportirovanie radioaktivnykh materialov*. 2009, no. 4, pp. 66–71. (in Russian).
2. Andreeva, I.A., Lapina, N. N. *Granulometricheskii analiz donnykh osadkov Mirovogo okeana. Metodicheskie rekomendatsii* [Particle-size analysis of bottom sediments of the World Ocean. Guidelines]. Moscow, VIMS, VNIIOkeangeologia, 2001, 38 p. (in Russian).
3. Gudymovich, S.S., Rychkova, I.V., Ryabchikova, E.D. *Geologicheskoe stroenie okrestnostei g. Tomska (territoriya)*

- rii prokhozhedniya geologicheskoi praktiki* [The geological structure of Tomsk surrounding area (the area of geological practice)]. Tomsk, Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2009, 84 p. (in Russian).
4. Zakharova, E.V., Zubkov, A. A. *Povedenie radionuklidov v podzemnykh gorizontakh* [The behavior of radionuclides in the subsurface horizons]. *Rossiiskii khimicheskii zhurnal*, 2010, vol. LIX, no. 3, pp.129–136 (in Russian).
 5. Zubkov, A.A., Zakharov, V.E., Makarova, O.V., et al. [The transformation of the rock-solution system upon the disposal of low-level liquid radioactive waste from JSC “SCC” to sandy reservoirs]. *Materialy Ross. Konf. “Fundamental’nye aspekty bezopasnogo zakhoroneniya RAO v geologicheskikh formatsiyakh* [Proc. Of the Russian Conference “Fundamental aspects of safe disposal of radioactive waste to geological formations”]. Moscow, October 15–16, 2013. Moscow, Granitsa Publishers, 2013, pp. 54–56. (in Russian).
 6. Krupskaya, V.V., Krylov, A.A., Sokolov, V. N. *Glinistye mineraly kak indikatory uslovii osadkonakopleniya na rubzhakh mel-paleotsen-eotsen na khrebt Lomonosova (Severnyi Ledovityi okean)* [Clay minerals as the indicators of sedimentation conditions at the Cretaceous-Paleocene-Eocene borders on the Lomonosov Ridge (the Arctic Ocean)]. *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2011, no. 2(88), pp. 23–35 (in Russian).
 7. Laverov, N.P., Velichkin, V.I., Omel’yanenko, B.I., et al. *Izmenenie okruzhayushchei sredy i klimata. T.5. Izolyatsiya otrabotavshikh yadernykh materialov: geologo-geokhimicheskie osnovy*. [Environment change and climate. Vol. 5. The isolation of spent nuclear materials: geological and geochemical bases]. Moscow, IGEM RAN, IPhZ RAN, 2008, 280 p. (in Russian).
 8. Osipov, V.I., Sokolov V. N. *Gliny i ikh svoistva. Sostav, stroenie i formirovanie svoistv* [Clays and their properties. The composition, structure and formation of properties]. Moscow, GEOS Publ., 2013, 576 p. (in Russian).
 9. Podobina, V.M., Kseneva, T. G. *Biostratigrafiya slavgorodskogo gorizonta (santon-nizhnii kampan) yugovostoka Zapadnoi Sibiri* [Biostratigraphy of Slavgorod horizon (Santonian – lower Campanian) in the south-east of Western Siberia]. *Vestnik Tomskogo gos. univ.*, 2011, vol. 342, pp. 205–213 (in Russian).
 10. Podobina, V. M. *Biostratigrafiya i foraminifery santon-kampan-maastrikhtskikh otlozhenii Zapadnoi Sibiri* [Biostratigraphy and foraminifera of Santonian-Campanian-Maastrichtian deposits in the Western Siberia]. *Vestnik Tomskogo gos. univ.*, 2014, vol. 379, pp. 196–199. (in Russian).
 11. Rybal’chenko, V.V., Pimenov, M.K., Kostin, P.P., et al.. *Glubinnoe zakhoronenie zhidkikh radioaktivnykh otkhodov* [Deep disposal of liquid radioactive waste]. Moscow, IzdAT, 1995, 256 p. (in Russian).
 12. Ferrage, E., Lanson, B., Michot, L.J., et al. Hydration properties and interlayer organization of water and ions in synthetic Na-smectite with tetrahedral charge. Part I. Results from X-Ray diffraction profile modeling. *The Journal of Physical Chemistry*. 2010, vol. 114, pp. 4514–4526.
 13. Moore, D.M., Reynolds, R. C. Jr. X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. 2nd Ed., *Oxford University Press*, 1997, 378 p.

NEWLY FORMED SMECTITE AS AN INDICATOR OF GEOENVIRONMENT TRANSFORMATION UNDER THE IMPACT OF AGGRESSIVE SOLUTIONS ACCOMPANYING LIQUID RADIOACTIVE WASTE

V.V. Krupskaya^{1,2}, S.V. Zakusin^{1,2}, A.P. Zhukhlistov¹, O.V. Dorzhieva^{1,3},
V. V. Sud'in⁴, L. Yu. Kryuchkova⁵, A.A. Zubkov⁶

¹*Institute of Ore Geology, Mineralogy, Petrography and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Staromonetnyi per. 35, Moscow, 119017 Russia.*

E-mail: krupskaya@ruclay.com

²*Lomonosov Moscow State University, Geological Faculty, Leninskie gory 1, Moscow, 119991 Russia. E-mail: zakusinsergey@gmail.com*

³*Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Pyzhevsky per. 7, Moscow, 119017 Russia. E-mail: dorzhievaov@gmail.com*

⁴*Baikov Institute of Metallurgy and Materials, Russian Academy of Sciences, Leninsky pr. 49, Moscow, 119991 Russia. E-mail: sudin.vlad@gmail.com*

⁵*St. Petersburg State University, Ulianovskaya ul. 1, St. Petersburg, 198504 Russia. E-mail: 2106@list.ru*

⁶*JSC "Siberian Chemical Combine", Kurchatova ul. 1, Seversk, Tomsk oblast, 636039 Russia. E-mail: geomon97@mail.ru*

Disposal of low and middle active liquid radioactive waste (LRW) to deep sandy layers (350–550 m) in synclinal structures through a system of injection wells is one of the ways of this waste isolation. The studies performed revealed the transformations in the mineral composition of LRW reservoir deposits related to the geological and technological processes. Liquid radioactive wastes represent thermodynamically unstable high-mineralized slightly alkaline or acidic solutions. Long-term exposure of reservoir deposits to such solutions leads to the formation of peculiar H⁺-smectites that differ from the smectite phases formed during diagenesis. The revealed transformations in the mineral composition of reservoir deposits benefits to increasing safety of LRW final isolation.

Keywords: *smectite, autigenic clay formation, sand reservoirs, liquid radioactive waste.*