

## О СИСТЕМНЫХ МЕРАХ ПО РАСШИРЕНИЮ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГЛИН НА ОБЪЕКТАХ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

И. И. Линге, А. Ю. Иванов, К. С. Казаков

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

Статья поступила в редакцию 11 октября 2018 г.

---

*В статье рассмотрены актуальные вопросы и проблемы использования материалов на основе глин в качестве изоляционных барьеров при сооружении и эксплуатации объектов использования атомной энергии. Предложены системные меры по повышению эффективности использования глин при решении вопросов обеспечения радиационной безопасности объектов для захоронения радиоактивных отходов.*

**Ключевые слова:** глины, бентонит, материалы на основе глин, барьерные материалы, обращение с радиоактивными отходами (РАО), повышение эффективности, радиационная безопасность.

### Введение

В работе [1] рассмотрены полезные свойства материалов на основе глин при их использовании для обеспечения безопасности при обращении с радиоактивными отходами (РАО). Уникальные свойства глин и материалов на их основе хорошо известны с древнейших времен и обусловили их широкое применение в различных отраслях промышленности. Мировой объем добычи глин огромен и даже является одним из маркеров экономического роста стран. Однако в атомной отрасли сложилась практика определенного игнорирования особенностей материалов на основе глин, связанных с характеристиками исходного сырья и способами его обработки, что зачастую ведет к недостаточно эффективному использованию высокого потенциала глин.

Цель настоящей статьи — анализ существующего состояния дел с применением глин и материалов на их основе при создании новых и реконструкции объектов использования атомной энергии, а также выработка основных

направлений действий по повышению эффективности и расширению применения их использования.

Эффекты упрощенных технологических подходов в проектных решениях при применении глин в полной мере проявились на ядерных объектах первых поколений. Например, конструкцией бассейнов хранилищ РАО на Сибирском химическом комбинате, созданных в начале 60-х годов, предусматривались гидроизолирующие экраны из глин. В процессе эксплуатации бассейнов было обнаружено, что свою роль они не выполнили, что привело к поступлению компонентов отходов в водоносные горизонты. Для ликвидации этих последствий был предпринят ряд мер по созданию дополнительных противодиффузионных экранов. Так, в бассейне Б-25 [2] был создан 320-метровый П-образный специальный барьер, что потребовало бурения 220 специальных инъекционных скважин, через которые закачано около тысячи кубометров геолообразующего раствора. В итоге проведенных

ремонтных работ получены очень хорошие результаты — в центральной и средней частях барьера коэффициент фильтрации водоносного горизонта, по которому происходила основная миграция радиоактивного загрязнения, оказался пониженным в 10000 раз [3]. Этих дорогих мероприятий и загрязнения недр вблизи бассейна можно было избежать, если бы работы по созданию защитных экранов изначально выполнялись с применением более качественных технических решений, учитывающих в полной мере конкретные характеристики используемых барьерных материалов и с надлежащим контролем качества исполнения.

Второй, еще более яркий пример — из работ по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС [4]. В предельно короткие сроки вдоль внешнего периметра промплощадки ЧАЭС на протяженном участке был сооружен глиняный барьер типа «стена в грунте» на глубину 30 метров с целью предотвращения разгрузки загрязненных грунтовых вод с промплощадки и примыкающих территорий в реку Припять. Эффективность этих работ для достижения целей радиационной безопасности оказалась крайне низкой по следующим причинам:

- 1) ожидаемое поступление грунтовых вод, которые были сравнительно чистыми, являлось далеко не самым важным источником загрязнения воды р. Припять;
- 2) сооружение «стены в грунте» вызвало подтопление промплощадки ЧАЭС и прилегающих загрязненных территорий, создавая риски для заглубленных реакторов 1-й очереди станции.

Для ликвидации этого явления потребовалось создание мощной системы водопонижения, с откачкой теперь уже сильно загрязненных вод (за счет подтопления загрязненных территорий и дополнительного загрязнения грунтовых вод при работе водопонижающих скважин) в сбросной канал пруда-охладителя ЧАЭС.

В современном формате работ на объектах атомной энергетики и промышленности глины и материалы на их основе находят широкое применение, в том числе при решении уникальных задач по консервации объектов размещения РАО. При этом в большинстве случаев системного и глубокого учета специальных свойств используемых глин не происходит.

На наш взгляд, ситуация существенно улучшится, если будут существовать такие компоненты общепромышленного подхода, как:

- системный и регулярно пополняемый источник знаний по характеристикам, свойствам и применению глин в рассматриваемой сфере деятельности, с учетом специфики проводимых работ;
- стимулы в форме указаний и рекомендаций на использование глин и материалов на их основе в соответствующих федеральных нормах и правилах и иных нормативных документах;

- «прошивка» всей системы нормативного обеспечения инжиниринговой деятельности (в частности, разработки проектных решений) материалами по глинам;

- организационные мероприятия по внедрению лучших практик и контролю качества разрабатываемых проектов и выполняемых работ.

Кратко рассмотрим эти компоненты в двух курсах — как обстоит дело сейчас и что необходимо сделать.

### Системный источник знаний по применению глин в атомной технике и центр компетенций

Объем научной и справочной литературы «по глинам» огромен и постоянно расширяется. Интересна статистика — за последние 20 лет в России вышло более 50 монографий по использованию глин и материалов на их основе. Из них почти 40% относилось к медицине, 25% — к теме гончарных и иных ремесел, чуть больше 10% — к использованию глин в качестве сырья для строительства, менее 10% — к применению глин в земледелии и ветеринарии и 4 монографии на тему сорбционных свойств глин (вне сферы ядерных технологий). Атомная отрасль в этом перечне практически отсутствует. Исключение составляет рассмотрение глин как среды для захоронения РАО. По этой проблематике вышли монографии [5, 6], специальный сборник [7] и ряд обзорных работ. По тематике исследования свойств материалов на основе глин и их использования (во всех сферах их применения) в базе данных научных статей электронной библиотеки за последние 15 лет зафиксировано более десяти тысяч статей, в атомной сфере — всего около двухсот.

В ряде случаев явно проявляется наличие активных центров компетенции, например: по применению глин как сорбентов в ветеринарии абсолютными лидерами являются специалисты Республики Татарстан; по применению глин как сорбентов для очистки вод лидерами являются специалисты из Белгорода. Анализ литературы позволяет констатировать, что интеграционный аналитический центр по применению глин на объектах атомной техники отсутствует. Все публикации на эту тему, кроме [1], носят исключительно локально-объектовый характер.

В составе мероприятий ФЦП ЯРБ, например, был выполнен значительный объем работ, в рамках которых вопрос о применении материалов на основе глин решался в отношении конкретных объектов с более высокой степенью научной проработки, что дало ощутимый эффект в плане обеспечения долговременной безопасности. Принципиальной особенностью всех выполненных работ стала их уникальность и независимость друг от друга. Во всех случаях (см. рис. 1) объем и глубина исследований в обоснование применения материалов на основе глин,

ПУГРы и приреакторные хранилища ОАО «СХК»	ПУГР ФГУП «ГЖК»	...	Бассейны ОАО «СХК»	Хранилища ЖРО ФГУП «ПО «Маяк»	...	Хранилища ТРО Белоярской АЭС
•	•		•	•		•
•			•	•		•
•			•	•		•
•				•		
•						
•						
•						
•						

В качестве показателя количества НИР взято число работ по различным тематикам, касающимся использования глинистых материалов в рамках Государственных контрактов ФЦП-ЯРБ-1

Рис. 1. Количество НИР и НИОКР в обоснование применения материалов на основе глины на различных объектах, реализованные в рамках ФЦП-ЯРБ

а также технологий их подготовки и закладки определялись и ограничивались исключительно особенностями объекта и компетенциями проектной и/или эксплуатирующей организации. Налицо и более широкие перспективы применения глины, как и в иных отраслях.

Так, например, существует технология применения бентонита при строительстве хранилищ нефти и нефтепродуктов и в резервуарах автозаправочных станций, заключающаяся в закладывании противодиффузионного экрана (ПФЭ) под слоем грунта. В ряде европейских стран геосинтетические материалы на основе глины (сертификат 1488-CPR-0413/Z) применяются для обустройства откосов и кюветов автомобильных дорог. Наверное, это целесообразно делать там, где возможна интенсивная транспортировка ЖРО и радиоактивных веществ автотранспортом и имеется потенциальный риск возникновения аварий. В случае разлива отходов глины, входящие в состав вышеуказанных материалов, позволят существенно смягчить последствия аварийной ситуации и облегчить ликвидацию ее последствий.

Также, учитывая зарубежный опыт, для улучшения надежности ПФЭ лучше всего использовать комбинированные экраны с применением бентоматов, глиняного замка и геомембран в различных сочетаниях в зависимости от местных условий [8].

В целях повышения эффективности работ по ликвидации объектов ядерного наследия и при сооружении новых объектов атомной промышленности представляется важным проведение анализа и обобщения опыта, а также интеграции и доступности знаний в этой сфере. Кроме того, надо учитывать, что сфера применения новых материалов — это не только создание объектов хранения и захоронения РАО, включая консервацию объектов размещения особых РАО, в том числе при выводе ЯРОО из эксплуатации. Не менее актуальным может оказаться применение современных материалов на основе глины и на иных объектах ядерного топливного цикла, включая действующие и проектируемые АЭС, уранодобывающие предприятия и прочие объекты ядерного топливного цикла.

Остановимся еще на двух примерах. На объектах использования атомной энергии ведутся масштабные работы по мониторингу недр [9] в

районах расположения и непосредственно на их территории, результаты которых показывают, что ситуация с реальным радиационным загрязнением далека от идеальной. При этом наличие или создание компактных сорбирующих экранов для сооружений, из которых возможно попадание загрязненных вод, не предусматривается. Еще один пример — просыпь или разлив радиоактивных материалов при обращении с ними, в том числе при их транспортировании. В такой ситуации требуется принятие оперативных и грамотных мер по организации сбора загрязненных почв и грунтов, что, в свою очередь, требует разработки (а лучше уже наличия) соответствующего плана мероприятий. Эффективным решением в этом случае может быть применение бентоматов, благодаря которым радиоактивное вещество, несанкционированно поступившее во внешнюю среду, экранировано, защищено от поступления воды и хорошо ими сорбируется. Все, что нужно для этого — сравнительно небольшой запас специальных бентоматов на объектах (пунктах транспортирования) или на самих транспортных средствах.

Несмотря на наличие таких примеров эффективного применения глины на отдельных объектах, общую ситуацию нельзя охарактеризовать как оптимальную ввиду отсутствия единого информационного ресурса и обмена опытом по применению материалов на основе глины в качестве изоляционных барьеров, в том числе в иных отраслях промышленности.

Резюмируя изложенные по данному направлению потребности в изменениях, отметим приоритетную необходимость:

- подготовки и издания объемной монографии-справочника на рассматриваемую тему в современном информационном формате;
- наличия компактной группы специалистов, которые вели бы мониторинг применения глиняных материалов. Такая группа могла бы стать прообразом отраслевого центра компетенции.

### Нормативные стимулы к применению глины

Под данным направлением понимается наличие в нормативной документации отсылок к возможности и необходимости применения глины и материалов, созданных на их основе, в качестве эффективных природных изоляционных

Таблица 1. Применения на практике требования к глинистым материалам

Показатель/условия	Ед. изм.	Назначение применения					Цементирование ЖРО
		Засыпка межкомптейнерного пространства ППЗРО	Глиняный экран ППЗРО	Сооружение барьеров	Глина	Сооружение барьеров	
Материал, назначение		Глинопорошок ППЗРО в г. Новоуральск	Глины формовочные бен-тонитовые, марка П1Т2 ППЗРО в г. Озерск	Глинопорошок ППЗРО в г. Северск	ППЗРО в г. Озерск	Глина бентонитовая ПБМГ	Глина бентонитовая марки СК. Цементирование
Автор требований		Эксплуатирующая организация ФГУП «НО РАО»	Проектировщик Уральский филиал АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон» – «УПИИ ВНИПИЭТ»	Проектировщик АО «ЦПТИ»	Проектировщик Уральский филиал АО «ФЦНИВТ «СНПО «Элерон» – «УПИИ ВНИПИЭТ»	ФГУП «РАДОН»	АО «Концерн Росэнер-гоатом» филиал «Нововоронежская АЭС»
Нормативный документ на материал			ГОСТ 28177-98 «Глины формовочные бентони-товые. Общие техниче-ские условия»			ТУ 39-0147001-105-93 или ТУ 2164-005-04002160-2007	ГОСТ 7032-75 «Глина бентонитовая для тонкой и строительной керамики»
Технические требования к материалу:							
Массовая доля монтмориллонита	%	20–30	не менее 30		не менее 30		
Массовая доля каолинита	%	20–40					
Общее содержание глинистых материалов	%		не менее 75		не менее 50		
Концентрация обменных катионов	мг-экв/100г сухой глины	не менее 25	не менее 30				
Бентонитовое число (набухаемость)	мл						не менее 75
Показатель адсорбции	мг/г						не менее 150
Массовая доля карбонатов в пересчете на CaCO <sub>3</sub> %, не более	%		не более 10				
Массовая доля сульфидной серы	%		не более 0,3				
Массовая доля железа в пересчете на Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	%		не более 12,0				
Содержание суммы окислов железа и титана (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> )	%						не более 2,25
Содержание серного ангидрида (SO <sub>3</sub> )	%						не более 0,75
Коллоидальность	%	не менее 10	не менее 10				

Продолжение таблицы 1

Показатель/условия	Ед. изм.	Назначение применения			
		Засыпка межконтейнерного пространства ППЗРО	Глиняный экран ППЗРО	Сооружение барьеров	Цементирование ЖРО
Водопоглощение	ед.	не менее 1,5	не менее 1,5		
Предел прочности при сжатии Па (кгс/см <sup>2</sup> )	Па (кгс/см <sup>2</sup> )		не менее 8,826·10 <sup>4</sup> (0,9)		
Предел прочности при растяжении в зоне конденсации влаги Па (кгс/см <sup>2</sup> )	Па (кгс/см <sup>2</sup> )		не менее 0,275·10 <sup>4</sup> (0,028)		
Термическая устойчивость	ед.		не менее 0,3		
Средний предел прочности на изгиб (связующая способность) кг/см <sup>2</sup>	0,1 мм	не более 30			
	0,16 мм		глинопоршок		
Остаток на ситах %	0,4 мм		не более 10		
	0,5 мм		не более 3		
	1,0 мм	не более 20			
	5,0 мм	не более 15			
Проход через сито 0,1 мм	%	не более 3			
Проход через сито 0,1 мм	%	не менее 35			
Содержание кусков крупностью	50 мм				не более 10
	300 мм				не более 10
Содержание песка	%			не более 5	
Коэффициент фильтрации	м/сут	не менее 10 <sup>-5</sup>		не более 10 <sup>-5</sup>	не более 10 <sup>-5</sup>
Число пластичности				не менее 20	не менее 27
Массовая доля влаги	%	3,0–5,0	6,0–10,0	не более 13	не более 10
Выход глинистого раствора с вязкостью 20 мПа	м <sup>3</sup> /т			не менее 8	не менее 8
Плотность суспензии	г/см <sup>3</sup>			1,079–1,053	1,079–1,032
Показатель фильтрации	см <sup>3</sup>			не более 15	не более 15
Насыпная плотность	т/м <sup>3</sup>	0,9–1,2			0,9–1,0
Модификатор				Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	

материалов. Рассмотрим ситуацию кратко, без учета иерархичности и не ограничиваясь темой РАО, а ориентируясь на получение ответа на вопрос о существовании и возможностях этих стимулов.

В ряде нормативных документов имеются рекомендательные и/или разрешительные формулировки. Например, при создании инженерных барьеров, имеющих отношение к теме РАО, используются глины, которые имеют максимальную способность удерживать и поглощать радионуклиды. В то же время применение глин рассматривается, в первую очередь, как изолирующий материал, в т. ч. для гидротехнических сооружений. В конкретном случае, по результатам исследований, к ним относятся глины из минералов группы монтмориллонита, или бентонитовые глины. Однако в нормативной документации отсутствует конкретика по допустимым видам, происхождению применяемых глин и материалов на их основе. Диапазон характеристик и параметров изменения свойств глин и материалов, изготовленных на их основе, практически игнорируется. Отметим, что даже плотность глин варьируется в разы — от 1,3 до 3,45 г/см<sup>3</sup>, а характеристики ценных свойств, таких как низкая водопроницаемость, пластичность, набухаемость, высокая поглощающая способность, стойкость к воздействию климатических факторов — в тысячи и десятки тысяч раз. Нет как прямой отсылки к документам, отражающим вышеперечисленные свойства, так и практических руководств и документов об изменчивости свойств материалов на основе глин при их взаимодействии с изолируемыми веществами. Основной показатель качества бентонитовой глины — содержание монтмориллонита. В технических заданиях на закупки и проектной документации, разрабатываемой для организаций Госкорпорации «Росатом», обычно или не содержится требований к содержанию монтмориллонита, или указываются требования из стандарта литейной промышленности ГОСТ 28177-98 «Глины формовочные бентонитовые. Общие технические условия» — не менее 30%.

При этом мировой опыт исследований материалов на основе глин для захоронения РАО единогласно опирается на значение содержания монтмориллонита не менее 70% [10]. Сводные данные о предъявляемых требованиях к материалам на основе глин при проектировании и выполнении практических работ приведены в табл. 1.

Интересующие нас материалы идут под общим названием «изолирующих» [НП-055-04] или «слабопроницаемых», как, например, в [РБ-078-12]: «В качестве такого материала могут быть использованы слабопроницаемые материалы, к которым относятся глина, суглинки, строительные и искусственные материалы с малым коэффициентом диффузии». Большой объем рекомендаций сводится к возможности применения глин как материала, способствующего

усилению изолирующих (фильтрационных и сорбционных) свойств естественных барьеров, без учета их специфических характеристик.

Понятный багаж таких положений крайне не ограничен и фактически не определен. Это уплотненная и(или) мятая глина, бентонит-цемент, гранулы, порошки, хорошо сорбирующая засыпка с различным размером частиц и пр., однако для практического применения ни состав глин, ни их разновидности не уточнены. К тому же в нормативной документации отсутствуют четкие однозначные определения самих терминов «уплотненная» и(или) «мятая» глина, бентонит, как и отсылки к документам, определяющим их качественные характеристики.

Количественные характеристики разрешенных или рекомендуемых материалов представлены в крайне упрощенной форме. Пример — из документации по созданию полигонов по обезвреживанию и захоронению токсичных отходов в проницаемых грунтах, в соответствии с требованиями которой необходимо предусматривать экран из мятой глины, с коэффициентом фильтрации  $10^{-9}$  —  $10^{-9}$  см/с по дну и откосам слоем 0,5—0,8 м [9]. Закономерны вопросы: используемые для этих целей глины (чаще всего местные) им удовлетворяют, как взаимодействуют токсичные растворы с глиной и насколько обеспечивается безопасность изоляции, как технологически оптимально обеспечивать сооружение таких экранов и иные, с которыми на практике сталкиваются проектанты и исполнители работ.

Глины в чистом виде применяются при создании довольно простых, но масштабных инженерных сооружений — хвостохранилищ горнодобывающих производств, искусственных водоемов, золо- и шлакоотвалов ТЭЦ и прочих гидротехнических сооружений.

Во многих документах возможность применения глин не отражена, хотя их применение, с учетом специфики создаваемых объектов, уместно. К тому же большая часть документов базируется на упрощенном принципе «разумной достаточности», исключающей возможность применения чрезмерных/дополнительных элементов при создании в т. ч. инженерных барьеров. При проектировании предприятий и установок атомной промышленности [11], а также создании их защиты, базирующейся на совместном использовании геологических и инженерных барьеров, целесообразно было бы подчеркнуть значимость этих барьеров, свойства материалов на основе глин с учетом специфики предприятий, а также добавить ссылки на нормативные документы, включая инструкции и рекомендации по централизованному использованию глин как материалов для применения в составе этих барьеров.

Таким образом, в нормативной базе представлен достаточно упрощенный и консервативный

подход к рекомендациям по материалам, который, по сути, следует признать малоэффективным. Действующие рекомендации предполагают воспроизводство подхода и применение тех же материалов, что и несколько десятилетий назад. При этом еще раз подчеркнем, что состояние всех объектов, построенных 50 и более лет назад показывает, что наблюдается выход радиоактивных веществ за пределы установок, требуется мониторинг недр, разработка решений по компенсирующим мероприятиям, включая комплексное проведение проектно-исследовательских работ и так далее. Сразу отметим, что во многих ситуациях речь идет только об эффектах, связанных с возможностями детектирования активности на низких, сверхнизких или фоновых концентрациях радиоактивных веществ. Но вне зависимости от этого очевидна необходимость и возможность целевой адресации к более современным материалам, в том числе на основе глин. Первым оправданным шагом вполне может стать расширение темы за действия глин с учетом их специфических характеристик, свойств при контактах с изолируемыми веществами и материалами барьеров, назначения объектов, целей и задач через нормативную базу.

#### Документационное обеспечение проектных работ

Применение материалов на основе глин в проектных решениях не сможет состояться без большого количества справочных материалов в форме новых и актуализированных строительных норм и правил, ГОСТов, различного рода расценочных и сметных данных. Накопленный в последние годы опыт, в совокупности с уже упомянутыми специализированными справочниками, позволит сформировать в первичном виде такую документационную базу. Появление нормативных стимулов создаст механизмы ее постоянного расширения и модернизации. При этом документационная база должна быть сформирована в современном информационном формате баз, банков данных и знаний, обеспечивающих эффективность ее использования.

#### Стимулирование лучших практик и специального контроля качества (оценки соответствия)

Наличие различного рода классификационных справочников по материалам на основе глин для нужд атомной промышленности позволит активизировать соответствующий накопленный в отрасли потенциал в части оценки соответствия. В этом случае при формулировании требований к работам можно будет оперировать использованием материалов с известными показателями и характеристиками, а не обращаться, как,

например, сегодня и тридцать лет назад, к сырью для буровых растворов (глина бентонитовая марки ПБМГ, ТУ 39-0147001-105-93), глинам формовочным для литейной промышленности (ГОСТ 28177-98), глинам для строительной керамики (ГОСТ 7032-75) и молотой огнеупорной глине для сооружения изолирующего покрытия и засыпки пустот хранилищ РАО.

Наличие специальных и развернутых требований позволит наладить систему оценки соответствия и контроля качества. В идеале должны быть организованы и демонстрационные центры, т. к. производство хорошо известных и современных материалов на основе глин представляет собой довольно сложный технологический процесс, а правильное применение этих материалов имеет свою специфику и требует определенных навыков.

#### Заключение

Предлагаемый комплекс мер предполагает большой объем научной, нормативной и организационной деятельности, растянутой во времени, и, соответственно, не даст очень быстрого эффекта. Но в ряде случаев он уже сейчас позволит избежать ошибок, которые могут привести к негативным эффектам через 5–10 лет, включая значимые радиационные и экономические последствия. Ожидаемый эффект будет явно ощущен в вопросах обоснования и обеспечения долговременной безопасности объектов использования атомной энергии, в том числе при обращении с РАО. Стоит отметить, что глины — один из перспективных вариантов вмещающей среды для создания пунктов захоронения РАО в геологических формациях [12]. И здесь отметим, что содержание технических заданий на разработку проектов ППЗРО не дает иллюзий относительно того, что выбор материалов будет глубоко проработан..

Использование специальных глин для нужд атомной отрасли представляет собой очень широкое перспективное, но пока мало проработанное поле научно-практической деятельности по созданию новых целеориентированных материалов на основе глин, как то: цементно-глинистые материалы, цеолитсодержащие глины, технологии подготовки глин и их смесей, создание смесей материалов на основе глин с заданными свойствами и характеристиками, изготовление компактированных гранул (пеллет), брикетов и других прессованных изделий из бентонита.

#### Литература

1. Крупская В. В., Бирюков Д. В., Белоусов П. Е., Лехов А. В., Романчук А. Ю., Калмыков С. Н. Применение природных глинистых материалов для повышения уровня ядерной и радиационной

- безопасности объектов ядерного наследия // Радиоактивные отходы.— 2018. — № 2. — С. 30—43.
2. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. / Под общ. ред. А. М. Агапова, Л. А. Большова, Е. В. Евстратова, Н. П. Лаверова, И. И. Линге. — М.: ОАО «Энергопромналитика», 2012. — Т. 1. — 356 с.
  3. *Захарова Е. В., Козырев А. С., Зубков А. А., Аверьянов Б. Ю.* Создание внешних барьеров безопасности как способ предотвращения миграции радионуклидов из хранилищ РАО // Тематический сборник «Росатома» «Ядерная и радиационная безопасность России». — М.: «Энергопромналитика», 2012. — Вып. 13. — С. 133—139.
  4. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Р. М. Алексахин, Л. А. Булдаков, В. А. Губанов и др. / Под общ. ред. Л. А. Ильина и В. А. Губанова. — М.: ИздАТ, 2001. — 752 с
  5. *Савоненков В. Г., Андерсон Е. Б., Шабалев С. И.* Глины как геологическая среда для изоляции радиоактивных отходов. — СПб.: Инфо Ол, 2012. — 215 с.
  6. *Румынин В. Г., Никуленков А. М.* Зональность физических свойств котлинских глин вендской системы (северо-запад Русской платформы) // Записки Горного института. — 2012. — Т. 197. — С. 191—196.
  7. *Фундаментальные аспекты безопасного захоронения РАО в геологических формациях: сб. тезисов Российской конф., Москва, 15—16 октября 2013.* — М.: Издательский дом «Граница», 2013. — 158 с. — ISBN – 978-5-94691-585-4.
  8. *Цебаковская Н. С., Уткин С. С., Иванов А. Ю., Сахаров В. К., Полунин К. Е.* Лучшие зарубежные практики вывода из эксплуатации ядерных установок и реабилитации загрязненных территорий. Т. 1 / Под общ. ред. И. И. Линге и А. А. Абрамова. — М.: ИБРАЭ РАН, 2017. — 366 с. ил. — ISBN 978-5-9907220-6-4.
  9. СП 127.13330.2017. Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию.
  10. Design, production and initial state of the buffer. SKB 2010. Svensk Kärnbränslehantering AB. Technical Report, TR-10-15.–2010. — 89 p. — URL: <http://www.skb.com/publication/2151517/TR-10-15.pdf> (дата обращения 20.09.2017)
  11. СанПиН 2.6.1.07-03 «Гигиенические требования к проектированию предприятий и установок атомной промышленности».
  12. Труды Радиевого института им. В. Г. Хлопина, Т. XI, 2006. — 130 с.

---

### Информация об авторах

*Линге Игорь Иннокентьевич*, доктор технических наук, заместитель директора, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: [linge@ibrae.ac.ru](mailto:linge@ibrae.ac.ru).

*Иванов Артем Юрьевич*, и. о. заведующего отделением, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: [aivanov@ibrae.ac.ru](mailto:aivanov@ibrae.ac.ru).

*Казаков Константин Сергеевич*, заместитель заведующего лабораторией, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: [kks@ibrae.ac.ru](mailto:kks@ibrae.ac.ru).

### Библиографическое описание статьи

*Линге И. И., Иванов А. Ю., Казаков К. С.* О системных мерах по расширению применения глиняных материалов на объектах атомной отрасли // Радиоактивные отходы. — 2018 — № 4 (5). — С. 33—41.



## ON COMPREHENSIVE APPROACH TO USE CLAY MATERIALS AS NUCLEAR FACILITIES SAFETY BARRIERS

Linge I. I., Ivanov A. Y., Kazakov K. S.

Nuclear Safety Institute of RAS, Moscow, Russia

Article received 11 October 2018

The article discusses topical issues and problems of using clay materials as safety barriers in the design and operation of nuclear facilities. Systemic measures are proposed to increase the efficiency of clay use in solving problems of long-term nuclear and radiation safety.

**Keywords:** clay, bentonite, clay materials, barrier materials, radioactive waste management (RW), radiation safety.

### References

1. Krupskaya V. V., Biryukov D. V., Belousov P. E., Lelkhov V. A., Romanchuk A. Yu., Kalmykov S. N. The use of natural clay materials to increase the nuclear and radiation safety level of nuclear legacy facilities. *Radioactive Waste*, 2018, no. 2 (3), pp. 30–43. (In Russian).
2. *Problemy yadernogo naslediya i puti ih resheniya*. Ed. by A. M. Agapova, L. A. Bol'shova, E. V. Evstratova, N. P. Laverova, I. I. Linge. Moscow, "Ehnergopromanalitika" Publ., 2012. Vol. 1. 356 p.
3. Zaharova E. V., Kozyrev A. S., Zubkov A. A., Aver'yanov B. Yu. Sozdanie vneshnih bar'erov bezopasnosti kak sposob predotvrashcheniya migratsii radionuklidov iz hranilishch RAO. *Nuclear and Radiation Safety of Russia*, Moscow, Ehnergopromanalitika Publ., 2012, issue 13, pp. 133–139.
4. Aleksahin R. M., Buldakov L. A., Gubanov V. A. et al. *Krupnye radiacionnye avarii: posledstviya i zaschitnye mery*. Ed. by L. A. Il'in and V. A. Gubanov. Moscow, Izdat Publ., 2001. 752 p.
5. Savonenkov V. G., Anderson E. B., Shabalev S. I. *Gliny kak geologicheskaya sreda dlya izolyatsii radioaktivnykh othodov*. SPb: Info OI, 2012. 215 p.
6. Rumynin V. G., Nikulenkov A. M. Tendencies in the change in physical and mechanical properties of the vendian clay formation (North Western edge of the Russian platform). *Journal of Mining Institute*, 2012, vol. 197, pp. 191–196. (In Russian).
7. *Rossiyskaya konferenciya "Fundamental'nye aspekty bezopasnogo zahoroneniya RAO v geologicheskikh formatsiyah"*: Moscow, October 15–16 2013. Moscow, "Granica" Publ., 2013. 158 p. ISBN 978-5-94691-585-4.
8. Cebakovskaya N. S., Utkin S. S., Ivanov A. Yu., Saharov V. K., Polunin K. E. *The best foreign practice of decommissioning nuclear installations and rehabilitation of contaminated areas: Vol. 1*. Under the general editorship of I. I. Linge and A. A. Abramov. Moscow, IBRAE RAN Publ., 2017. 336 p. (in Russian). ISBN 978-5-9907220-6-4.
9. SNiP 2.01.28-85. *Poligony po obezvrezhivaniyu i zahoroneniyu toksichnykh promyshlennykh othodov. Osnovnye polozeniya po proektirovaniyu*. Moscow, CИTP Gosstroya SSSR, 1985. 16 p.
10. *Design, production and initial state of the buffer*. SKB 2010. Svensk Kärnbränslehantering AB. Technical Report, TR-10-15. 2010. 89 p. Available at : <http://www.skb.com/publication/2151517/TR-10-15.pdf> (20.09.2017).
11. SanPiN 2.6.1.07-03. *Gigienicheskie trebovaniya k proektirovaniyu predpriyatij i ustanovok atomnoj promyshlennosti*.
12. *Trudy Radievogo instituta im. V. G. Hlopina, v. XI*, 2006. — 130 p.

### Information about the authors

Linge Igor Innokentevich, Doctor of Technical Sciences, Deputy Director, The Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tuskaya St., Moscow, 115191, Russia), e-mail: [linge@ibrae.ac.ru](mailto:linge@ibrae.ac.ru).

Ivanov Artem Yurievich, Head of Department for Information Support of Nuclear and Radiation Safety Programs, The Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tuskaya Str., Moscow, Russia, 115191, Russia), e-mail: [aivanov@ibrae.ac.ru](mailto:aivanov@ibrae.ac.ru).

Kazakov Konstantin Sergeevich, Deputy chief of NRS programs development and analytical support Laboratory, The Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tuskaya Str., Moscow, Russia, 115191, Russia), e-mail: [kks@ibrae.ac.ru](mailto:kks@ibrae.ac.ru).

### Bibliographic description

Linge I. I., Ivanov A. Y., Kazakov K. S. On comprehensive approach to use clay materials as nuclear facilities safety barriers. *Radioactive Waste*, 2018, no. 4 (5), pp. 33–41 (In Russian).