

УДК 504.054

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ВСЛЕДСТВИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ ХИМИЧЕСКИХ И РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ НА УЧАСТКЕ “КОЛОМЕНСКОЕ” В г. МОСКВА И ВОЗМОЖНОСТИ РЕАБИЛИТАЦИИ ТЕРРИТОРИИ

© 2020 г. Н. А. Орлова^{1,*}, М. П. Кропоткин^{1,**}, О. А. Ильина^{2,***}, А. А. Прасолов^{1,****}, В. В. Крупская^{3,*****}

¹ Национальный исследовательский Московский строительный государственный университет (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, 26, Москва, 129337 Россия

² ООО “Компания Бентонит”, ул. Тверская, 12, стр. 1, офис 24, Москва, 125009 Россия

³ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), Старомонетный пер., 35, Москва, 119017 Россия

*E-mail: NAOrova@rusgeology.ru

**E-mail: singeos@yandex.ru

***E-mail: ilina@bentonit.ru

****E-mail: PrasoovAA@rusgeology.ru

*****E-mail: krupskaya@ruclay.com

Поступила в редакцию 14.10.2019 г.

После доработки 18.10.2019 г.

Принята к публикации 18.10.2019 г.

В период с 1950-х по 1980-е годы часть оврагов и склонов на территории участка “Коломенское” оказались загрязнены отходами производств различных предприятий. В статье рассмотрены геоэкологические риски, связанные с развитием инженерно-геологических процессов на участке, подвергшемся загрязнению, и возможные пути рекультивации территории.

Одним из методов рекультивации территории предложено создание хранилища на примере французского опыта в департаменте Манш, где при захоронении столкнулись с похожими геологическими условиями. Создание покрывающих экранов на основе бентоматов, фильтрационных сорбционных и слабофильтрационных инъекционных барьеров, разработка систем по типу “воронка и ворота” способны обеспечить высокую экологическую надежность. При принятии решения захоронения радиоактивных отходов на месте необходимо создать систему многолетнего мониторинга.

Ключевые слова: оползни, карст, Коломенское, радионуклиды, бентонит, захоронение, рекультивация

DOI: 10.31857/S0869780920010159

ВВЕДЕНИЕ

В 1940–1960-е гг., во времена быстрорастущего производства нашей страны существовало большое количество промышленных предприятий и НИИ, которые нуждались в утилизации и хранении отходов производства. В Москве на территории правого берега р. Москвы от Коломенской набережной до железнодорожного моста Курской железной дороги по направлению течения реки расположены: Онкологический научный центр, Московский инженерно-физический институт (МИФИ), Всероссийский научно-исследовательский институт химической техноло-

гии (ВНИИХТ), Всероссийский научно-исследовательский и проектный институт промышленной технологии (ВНИПИПТ), Московский завод полиметаллов (МЗП), где в той или иной степени проводились и проводятся работы с радиоактивными веществами, нуждающимися в утилизации.

МЗП специализировался на работе с редкоземельными и радиоактивными материалами. Для очистки стоков предприятия внизу склона были созданы бетонные малозаглубленные отстойники-осветители, из которых очищенные от взвесей стоки сливались в реку, а осадок периодически удалялся. Тем не менее, по опубликованным дан-

ным в районе МЗП значительная часть территории загрязнена отходами производства, здесь захоронено не менее 60 тыс. т промышленных отходов¹, что может быть объяснено только нарушением технологических режимов производства. В настоящее время бетонные стенки отстойников сильно разрушены в наземной части, хорошо видны продольные трещины разной ширины раскрытия.

Согласно требованиям МАГАТЭ, при захоронении РАО определяющими критериями размещения являются геологическая среда и система инженерных барьеров. Кроме вновь создаваемых в соответствии с требованиями безопасности пунктов захоронений, в отдельных случаях РАО (ПП №1069) могут быть отнесены к особым (ОРАО), для которых предусматривается захоронение на месте с соблюдением необходимых мер обеспечения безопасного состояния для людей и окружающей среды.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ РАО

В геоморфологическом отношении на участке выделяются: плато с абсолютными отметками 143–147 м, надоползневой уступ, поверхность оползневой террасы крутизной около 3°–5° с абсолютными отметками 128–131 м. Отходы производства завода МЗП и других предприятий и организаций расположены на абсолютных отметках 122–132 м. В прибрежной части участка выполнено устройство набережной. Урез р. Москвы находится на отметке 114.5 м. Склон залесен, подошва и уступ надпойменной террасы частично подтоплены, местами наблюдаются крупные мочажины. На момент обследования территории (август 2019 г.) отстойники не подтоплены. В верхней части участка (вблизи забора) склон прорезает оползень: техногенные грунты обнажены, в рельефе четко читается стенка срыва, грунты рыхлые, осыпаются.

Геологическое строение склона авторами изучено на основании архивных данных и данных бурения, выполненного в 2007 и 2016 гг. на участках, примыкающих к МЗП. Геологический разрез представлен четвертичными, меловыми, юрскими и каменноугольными отложениями.

Каменноугольные отложения, представленные в основном карбонатными породами, залегают ниже абсолютных отметок 87.0–90.5 м. Поверхность их кровли неровная, размытая, пони-

жается в сторону реки. Литологические разности представлены известняком микрозернистым, трещиноватым, органогенно-детритовым, прочным и средней прочности, доломитом микрозернистым и глинами известковистыми. Каменноугольные породы перекрыты отложениями юрской системы, представленными черными, серо-черными глинами келловейского и оксфордского ярусов, черными песчано-глинистыми отложениями средневожского подъяруса, суглинками верхневожского подъяруса. На плато кровля оксфордских глин вскрывается на абсолютных отметках 124–125 м, а в береговом уступе на отметках 116.5–120.0 м.

Меловые отложения представлены светло-коричневыми мелко- и среднезернистыми песками и супесями, водонасыщенными на плато и в уступе террасы.

Породы московской морены (скорее всего смещенной вниз по склону оползнем) вскрыты скважинами в подошвенной части уступа и чуть ниже по склону, в верхней части склона грунты срезаны. Морена представлена суглинками тугопластичными мощностью до 5 м.

В верхней части плато и подножья уступа залегают техногенные, переотложенные грунты с примесью бытового и строительного мусора.

Гидрогеологические условия участка характеризуются наличием напорного подольско-мячковского водоносного горизонта и слабонапорного водоносного горизонта, приуроченного к песчаным грунтам четвертичного и юрско-мелового возраста.

Детальная расшифровка геологического строения затрудняется тем, что склон подвергался частичной планировке, мощность техногенных грунтов на склоне значительная и не выдержана, грунты изымались для организации отстойников, склон подвергался в разное время оползневым процессам.

Участок “Коломенское” — один из наиболее крупных и активных оползневых участков г. Москвы, где в течение второй половины голоцена сформировались многоступенчатые блоковые оползни. На участке с 1972 г. проводятся ежегодные маршрутные наблюдения за оползневыми смещениями, которые с разной степенью интенсивности продолжаются вплоть до настоящего времени. На склоне за территориями МЗП и ВНИИХТ была установлена сеть из грунтовых реперов, которые можно разбить на 2 группы по абсолютным отметкам их расположения: ниже и выше 125 м, что примерно соответствует предполагаемой отметке кровли глин оксфордского яруса верхней юры, которые вместе с отложениями келловейского яруса средней юры формируют основную деформирующий горизонт для глубоких оползней на рассматриваемой территории. На

¹ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2017 году: Государственный доклад // Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Москва. 2018. 268 с. https://rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=101456

участке с отметками ниже 125 м были установлены 9 реперов (в период 1960–1996 гг.), а выше 125 м – 14 реперов (в период 1957–1984 гг.).

В целом рассматриваемый участок более устойчивый по сравнению с расположенной западнее частью третьего оползневого амфитеатра, в пределах которого происходило неоднократное разрушение Чертановских коллекторов, и было выполнено устройство контрбанкета в русле р. Москвы, и оползневой участком Москворечье, расположенным к востоку от изучаемой территории.

У реперов, расположенных ниже 125 м, в 1960-е годы активность смещений была фактически нулевой, максимальные значения средних смещений отмечены в 1969 г. (плановые – 74 мм, высотные – 9 мм). В 1974 г. началась активизация оползневого процесса, в 1975 г. зафиксированы самые большие плановые смещения за весь период наблюдений – 154 мм, также увеличились и высотные смещения – до 60 мм. В период 1977–1983 гг. плановые смещения в целом уменьшились (максимальные значения средних смещений – 100 мм за 1981 г.). С 1984 г. смещения заметно уменьшились. В последующем максимальные плановые смещения составили 61 мм (в 1993 г.), при этом высотные не превышали 10 мм.

Для реперов, расположенных выше 125 м, значительные смещения отмечены с момента их установки. В период 1957–1961 гг. максимальные значения средних плановых смещений составили 69 мм, при этом высотные смещения были незначительны (максимальные значения опускания – 7 мм). В 1960-х годах оползневой процесс затухал, среднегодовые плановые смещения не превышали 47 мм. В 1969 г. началась активизация оползневого процесса, проходившая до 1972 г., максимальные значения смещений были отмечены в 1971 г. (плановые достигли 81 мм, а высотные – 11 мм), после этого активизация оползневого процесса происходила с небольшой скоростью. При этом увеличивались только величины плановых смещений с максимумом в 1977 г. (161 мм). В 1980–1984 гг. произошла новая активизация оползневого процесса, достигшая максимальных значений за весь период наблюдений для изучаемых реперов. Максимальные значения высотных опусканий составили 19 мм в 1981 г., а для плановых смещений – 357 мм в 1984 г.

На данной территории помимо оползневых процессов существует вероятность развития карстово-суффозионных процессов. Вблизи пересечения Курской железной дороги с Окружной железной дорогой и вплоть до южной окраины кварталов у станции Текстильщики вскрыты ратмировские сильнотрещиноватые известняки мощностью от 7 м и больше. Породы на этих

участках отличаются повышенной водопроницаемостью (не менее 20 м/сут).

В результате ежегодных обследований дна р. Москвы методом эхолотирования, выполненных ОАО “Геоцентр-Москва”, АО “Гипроречтранс” в период 1990–2007 гг., в районе оползневых участков обнаружен ряд несимметричных неровностей дна реки с максимальной глубиной 4.8–15.6 м. Линейный размер самой глубокой депрессии вдоль русла составляет 200 м. Над этой депрессией геофизическим методом потенциала естественного электрического поля (ЕЭП) обнаружена отрицательная аномалия, которая, согласно данным о составе отложений дна реки и минерализации воды, соответствует участку развития нисходящей фильтрации [2]. Увеличение глубины данной депрессии фиксировалось с 1991 г. Подобные воронки в реке, скорее всего имеют карстово-суффозионную природу. Возможная инфильтрация воды р. Москвы способна вызывать загрязнение нижележащего каменноугольного водоносного горизонта, являющегося стратегическим источником питьевого водоснабжения города.

На левом берегу р. Москвы, на территории бывших полей фильтрации и прилегающих к ним окрестностей проведены исследования [4], благодаря которым выявлены многочисленные гидрогеологические окна (рис. 1) [1].

Радиоэкологические работы по контролю, обследованию, дезактивации начались на территории Коломенского с 1992 г., в настоящее время носят регулярный характер. В рамках выполнения геоэкологических работ² [1] в 2008 г. компания ОАО “Геоцентр-Москва” провела пешеходную гамма-съемку по сети 20 × 20 м, измерения выполнялись с использованием поискового радиометра СРП-88Н, общий объем – 4000 точек наблюдений.

Также проводился выборочный отбор проб грунта на участках с аномальными значениями мощности эквивалентной дозы (далее – МЭД), для сравнения отбирались пробы на различных участках; пробы отбирались из закопашек 10–15 см, всего – 9 проб. В результате изучения проб установлено, что основными загрязняющими элементами являются радионуклиды, принадлежащие семейству радия (Ra^{226}) и тория (Th^{232}). Уровень МЭД на поверхности исследуемой территории варьирует от 8 до 17 мкР/час, но есть локальные превышения до 40–60 мкР/час. Повышение МЭД имеет не системный, хаотичный характер и увеличивается от реки вверх по склону. Максимальное значение МЭД обнаружено на от-

² Отчет “Ведение локального мониторинга геоэкологических процессов на участке Коломенское” Том 1. Книга 1. ГЕОЦЕНТР-МОСКВА, 2009 г.



Рис. 1. Схема распространения проявлений опасного развития геологических и гидрогеологических процессов.

дельных участках и соответствует значению 100–2500 мкР/час. В районе отстойников у поверхности стенок МЭД изменяются в диапазоне 100–500 мкР/час.

НЕКОТОРЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РЕКУЛЬТИВАЦИИ

При разработке рекомендаций в некоторой степени может быть использован опыт Франции

(Manche disposal facility), где при эксплуатации пункта захоронения радиоактивных отходов возникла проблема оползания склона, миграции радионуклидов, и были осуществлены конструктивные изменения хранилища, решившие эти проблемы.

Предлагаемое решение по устройству консервационного покрытия участка радиационного загрязнения близ МЗП предусматривает выполнение ряда мероприятий и соблюдения обязательных условий.

1. Создание покрывающего экрана, предотвращающего попадание воды в тело хранилища и препятствующего процессам размывания склона, а также проведение специальных мер по изолированию хранилища для предотвращения подмывания основания и попадания в грунтовые воды радионуклидов.

2. Экран должен состоять из двух слоев: дренажного, позволяющего отвести поверхностные воды и предотвратить размывание верхнего слоя грунта, и изолирующего слоя, предотвращающего попадание воды в хранилище.

Дренажный слой должен обеспечивать снижение гидростатического давления на противофильтрационный материал и водопритока в район отстойников. Для устройства дренажного слоя в данном случае вместо инертных материалов (щебень, песок) может быть рекомендовано применение легких геосинтетических дренажных материалов, снижающих механическую нагрузку на конструкцию хранилища на этапе строительства. Среди подобных материалов перспективны композиты с внутренними дренажными трубками, с помощью которых возможно эффективно перехватывать и централизованно направлять стоки в

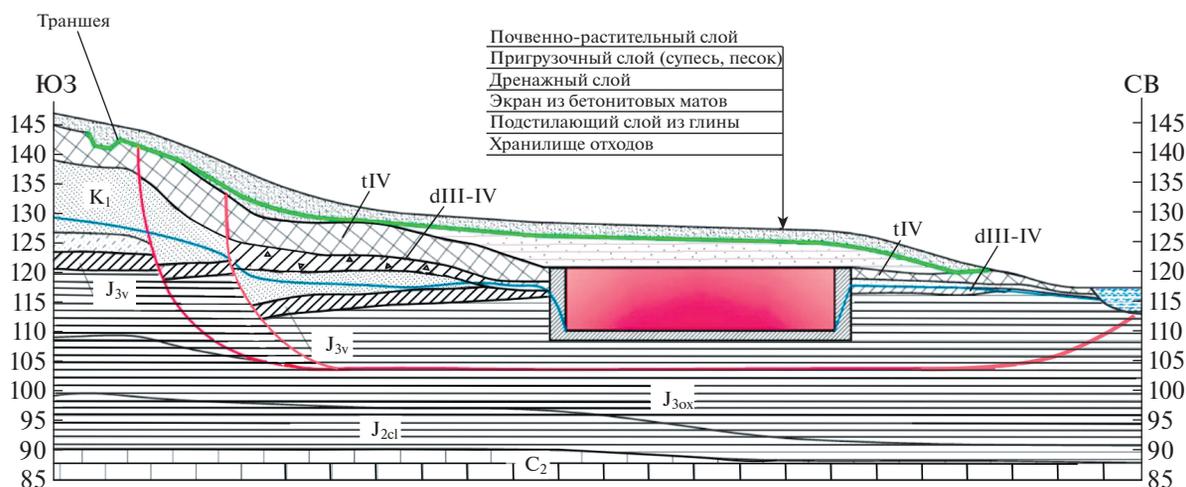


Рис. 2. Геологическое строение участка и схема покрывающего экрана.

коллектор для очистки или/и анализа (контроля). Применение трубок позволяет этим материалам эффективно работать даже при наличии местных отрицательных уклонов местности.

В качестве *изолирующего барьера* предлагается использовать материалы на основе природных бентонитовых глин, которые являются эффективным материалом с полным комплексом противомиграционных и противофильтрационных свойств [6]. Бентонитовые глины и смеси бентонитовых глин с другими материалами используются в качестве буферных материалов при размещении РАО в хранилищах и материалов обратного заполнения туннелей, шахт и других конструктивных пространств хранилищ почти в каждой программе по захоронению радиоактивных отходов [6]. Бентониты являются наилучшим природным изоляционным материалом благодаря особенностям состава и строения их основного компонента — минерала группы смектита — монтмориллонита. Высокое содержание монтмориллонита гарантирует безопасность многих видов промышленных отходов, так как обеспечивает практически полную водонепроницаемость, исключает контакт воды с отходами и попадание радионуклидов и других опасных компонентов в окружающую среду за счет высокой сорбции.

На данном объекте в условиях развития (или риска развития) различных склоновых процессов целесообразно применение рулонных гидроизоляционных материалов на основе бентонитовой глины — бентонитовых матов. Бентонитовый мат представляет собой гибкий и прочный иглопробивной каркас из полипропиленовых волокон, внутри которого равномерно расположены гранулы натриевого бентонита [3]. За счет набухания гранул бентонита в замкнутом объеме подобный материал приобретает высокие гидроизоляционные свойства, которые могут быть сопоставимы с 1 м уплотненной глины. Использование подобных материалов актуально при строительстве покрывающих экранов при выводе из эксплуатации различных ядерно- и радиационноопасных объектов (ЯРОО) и широко применяется в зарубежных проектах по изоляции РАО. При этом стоит отметить, что использование в качестве покрывающего экрана на участке “Коломенское” уплотненных после насыпки глин мощностью в 1–1.5 м не может быть рекомендовано, так как потенциально может привести к дополнительному обводнению верхнего слоя грунта и повысить риски развития опасных оползневых процессов.

В качестве специальных мер по обеспечению безопасности хранилища отходов, при условии принятия решения по захоронению на месте, могут быть также предложены два решения, которые необходимо использовать совместно:

— создание инъекционных барьеров в теле самого хранилища для повышения сорбционной способности вмещающих отходы грунтов;

— создание системы инъекционных сорбционных и фильтрационных барьеров, а также инженерных конструкций по типу “воронка–ворота” для изоляции хранилища, сбора и очистки грунтовых вод, проходящих через загрязненные грунты.

Инъекционные барьеры могут иметь разную рецептуру в зависимости от типа грунта и эффекта, который требуется достичь при их использовании [4, 6]. При выборе вяжущих компонентов в каждом конкретном случае необходимо учитывать целый ряд факторов, которые могут влиять как на цементирование грунтов, так и на сорбционные свойства барьера. В первую очередь к ним относится устойчивость вяжущих компонентов к растворам кислого и щелочного состава, величина сорбционной емкости барьерного материала и избирательность по отношению к конкретным элементам-загрязнителям и условия начала твердения (рН среды). При выборе рецептуры инъекционных барьеров также должны учитываться состав, строение и свойства грунтов, в которых они устанавливаются. Среди большого набора рецептур после проведения специальных исследований могут быть рекомендованы составы инъекций на основе глинистых суспензий (бентонитовые, полимер-бентонитовые композиты и т.д.), либо полимеризационных вяжущих (растворы жидкого стекла, аморфного кремнезема, аминопласты, полиакриламиды, лигносульфонаты и др.). При этом инъекции на основе глинистых материалов, в первую очередь, бентонита, могут быть использованы для создания сорбционного и гидроизоляционного барьера в теле хранилища. Чтобы правильно рассчитать количество нагнетаемого вещества и избежать возможного обводнения массива, что может привести к активизации оползневых процессов с риском для разрушения хранилища и попадания радионуклидов и других техногенных опасных компонентов в окружающую среду (в первую очередь в воды р. Москвы), необходимы детальные данные по составу и строению грунтов. Гидратационные гидравлические вяжущие на основе цемента не могут быть использованы на участке “Коломенское” из-за высокой глинистости грунтов и низкой их проницаемости. Рецептуры с применением специальных добавок для сорбции радионуклидов могут быть подобраны после проведения исследований грунтов и состава отходов.

Для исключения обводнения массива грунтов при работах по изоляции отходов не могут быть использованы технологии по типу “стена в грунте”. При этом может быть предложена система фильтрационных барьеров на основе полимери-

зационных вяжущих для обеспечения очистки грунтовых вод, а также система “воронка и ворота”, развиваемая за рубежом, но редко используемая в России.

Таким образом, создание различных систем инъекционных барьеров, в комплексе с применением гидроизоляционных бентоматов и других решений принципиально может обеспечить безопасное захоронение отходов [5]. Однако в непосредственной близости от площадки размещения отходов на протяжении многих лет происходит развитие глубоких и поверхностных оползней и карстово-суффозионных процессов, поэтому необходимо выполнить оценку устойчивости территории. Оценка последствий потенциального развития опасных процессов должна быть учтена при разработке проекта рекультивации.

ВЫВОДЫ

Проведение мероприятий на участке “Коломенское” для обеспечения экологической безопасности должно выполняться поэтапно.

Начальный этап работы – проведение изысканий с детальным изучением инженерно-геологических, гидрогеологических, гидрологических условий площадки, в том числе опасных экзогенных процессов. Следующий – разработка проекта рекультивации с последующей экологической экспертизой. Для разработки предложений по рекультивации территории отсутствуют следующие данные: детальный состав и распространение загрязнений в грунте и реке по глубине и площади, радионуклидный состав РАО и связанные с ними риски, степень целостности стенок и дна отстойников, конструкция и работоспособность дренажа у отстойников, состав подземных вод, изменение их уровней и температуры в течение года.

Несмотря на настороженное отношение среди населения к захоронениям подобного вида, изучение радионуклидного состава может помочь определить степень реальной опасности для биоты и позволит оценить имеющиеся риски. На первом этапе также должна быть разработана, а затем введена в действие система мониторинга, включающая систематические геодезические наблюдения по сети грунтовых реперов, инклинометрические наблюдения в специально оборудованных скважинах, гидрогеологические режимные наблюдения, включая специальные гидрохимические, контроль состояния стенок отстойников неразрушающими (геофизическими) методами.

Могут быть рекомендованы такие мероприятия, как создание покрывающих экранов на основе бентоматов, создание фильтрационных сорбционных и слабофильтрационных инъекционных барьеров, разработка систем по типу “воронка и ворота” и т.д. Конкретные рецептуры

инъекций должны быть разработаны после проведения детальных исследований состава и строения грунтов, природы загрязнителя, физико-химических условий в отстойнике и т.д.

В случае, если развитие инженерно-геологических процессов и (или) особенности инженерно-геологических условий сделают неэффективными барьерные системы при условии захоронения на месте, необходимо принятие управленческих решений на вывоз загрязненных грунтов с территории Коломенского. Во время проведения вывоза грунта надо исключить возможность миграции промышленных отходов в реку и подземные воды путем создания изолирующих барьеров. Следует учесть, что изъятие грунтов в основании склона может вызвать активизацию оползневых процессов, в связи с чем необходимо проведение противооползневых мероприятий. Затраты на дезактивацию, подразумевающую вывоз и перезахоронение отходов, хаотично расположенных на территории склона и вдоль реки, будут значительными. По завершению работ возможно благоустроить данную территорию до уровня парковой зоны.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность к.г.-м.н. П.Е. Белоусову (ИГЕМ РАН) и д.г.-м.н. Е.Н. Самарину (МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет) за помощь в подготовке материала по вопросам рекультивации.

Исследование выполнено при частичной поддержке проекта РФФ № 16-17-10270.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галицкая И.В., Позднякова И.А., Батрак Г.И., Томс Л.С. Подходы к оценке риска загрязнения подземных вод на участках гидрогеологических окон // Геоэкология. 2018. № 6. С. 83–94.
2. Казак А.В. Аппаратурно-методический комплекс для геофизических исследований процессов фильтрации на пресноводных водоемах: авторефер. дисс. ... канд. физ.-мат. наук. М., 2008. <https://dlib.rsl.ru/viewer/01003451684#?page=1>
3. 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. С. 33–41.
4. Самарин Е.Н. К вопросу классифицирования инъекционных материалов // Международный журнал “Геотехника”. 2015. № 4. С. 52–67.
5. LaGrega M.D., Buckingham P.L., Evans J.C. Hazardous Waste Management. Boston, McGraw Inc., 2001. Chapter 16. P. 982–1060.
6. Patrik Sellin, Olivier Xavier Leupin The Use of Clay as an Engineered Barrier in Radioactive-Waste Management – A Review // Clays and Clay Minerals 61(6) March 2014. P. 477–498.

GEOECOLOGICAL RISKS ARISING FROM THE DISPOSAL OF TOXIC CHEMICAL AND RADIOACTIVE WASTE IN KOLOMENSКОЕ (MOSCOW) AND THE OPTIONS OF TERRITORY REHABILITATION

N. A. Orlova^{a,#}, M. P. Kropotkin^{a,##}, O. A. Ilina^{b,###}, A. A. Prasolov^{a,####}, and V. V. Krupskaya^{c,#####}

^a National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow, 129337 Russia

^b Bentonite Co. LTD, Tverskaya ul., 12/1, Moscow, 125009 Russia

^c Institute of Ore Geology, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), Staromonetny per., 35, Moscow, 119017 Russia

[#]E-mail: NAOrova@rusgeology.ru

^{##}E-mail: singeos@yandex.ru

^{###}E-mail: ilina@bentonit.ru

^{####}E-mail: PrasolovAA@rusgeology.ru

^{#####}E-mail: krupskaya@ruclay.com

In 1950–1980s, some ravines and slopes in the territory of Kolomenskoye site were contaminated with waste materials from various factories. The article discusses the geoecological risks associated with the development of man-induced geological processes on the contaminated site and approaches to territory rehabilitation. One of the methods to the territory rehabilitation involves a repository, following a French experience in the Manche department, where at creating a burial site they encountered similar geological conditions. Creation of covering screens based on bentonites, sorption filtration and low filtration injection barriers, development of funnel and gate systems is able to provide high ecological reliability. When deciding the on-site disposal of radioactive waste, a multi-year monitoring system must be created.

Keywords: landslides, karst, Kolomenskoe, radionuclides, bentonite, burial, reclamation

REFERENCES

1. Galitskaya, I.V., Pozdnyakova, I.A., Batrak, G.I., Toms, L.S. *Podkhody k otsenke riska zagryazneniya podzemnykh vod na uchastkakh gidrogeologicheskikh okon* [Approaches to assessing the risk of groundwater pollution in areas of hydrogeological windows]. *Geokologiya*, 2018, no. 6, pp. 83–94. (in Russian)
2. Kazak, A.V. *Apparturno-metodicheskii kompleks dlya geofizicheskikh issledovaniy protsessov fil'tratsii na presnovodnykh vodoemakh*. [Hardware and Methodological complex for geophysical studies of filtration processes in freshwater bodies of water]. Extended abstract of Cand.Sci. (Phys.-Math.) Dissertation. Moscow, 2008. <https://dlib.rsl.ru/viewer/01003451684#?page=1> (in Russian)
3. Linge, I.I., Ivanov, A.Yu., Kazakov, K.S. *O sistemnykh merakh po rasshireniyu primeneniya glinyanykh materialov na ob'ektakh atomnoi otrasli* [On system measures to expand the use of clayey materials at nuclear facilities]. *Radioaktivnye otkhody*, 2018, no. 4, pp. 33–41. (in Russian)
4. Samarin, Ye.N. *K voprosu klassifitsirovaniya in'ektsionnykh materialov* [On the issue of classification of injective materials]. *Geotekhnika*, 2015, no. 4, pp. 52–67. (in Russian)
5. LaGrega, M.D., Buckingham, P.L., Evans, J.C. *Hazardous Waste Management*. Boston, McGraw Inc., 2001, Chapter 16, pp. 982–1060.
6. Sellin, P., Leupin, O.X. The Use of Clay as an Engineered Barrier in Radioactive-Waste Management – A Review. *Clays and Clay Minerals*, 61(6):477–498 March 2014.