

На правах рукописи

ГУДКОВА Ольга Васильевна

УДК 622 : 624.131 : 628.496 (043.3)

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ ХРАНИЛИЩ ОТХОДОВ
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Специальности 25.00.16 - «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр» и 25.00.22 — «Геотехнология (открытая, подземная и строительная)»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2004

Работа выполнена в Московском государственном горном университете (МГГУ).

Научный руководитель
доктор технических наук, доцент КИРИЧЕНКО ЮРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ

Официальные оппоненты:

доктор технических наук КУТЕПОВ ЮРИЙ ИВАНОВИЧ
кандидат технических наук, доцент ПТИЧНИКОВ ЕВГЕНИЙ ВИКТОРОВИЧ

Ведущая организация - ФГУП Специализированный строительный трест «Энергогидромеханизация» (г. Москва).

Защита диссертации состоится « 3 » марта 2004 г. в 15 час. на заседании диссертационного совета Д - 212.128.04 в Московском государственном горном университете по адресу: 119991, Москва, В-49, Ленинский проспект, д.6.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного горного университета.

Автореферат разослан « 3 » февраля 2004 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
проф., докт.техн.наук Ю.В.БУБИС

Общая характеристика работы

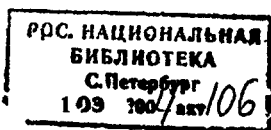
Актуальность работы. Проблема промышленных и коммунальных отходов принимает глобальный характер. Растущее количество отходов и нехватка средств для их переработки характерны для многих городов. Все больше и больше мусора вывозится на дальние расстояния в санитарные зоны сброса. Каждый год в Российской Федерации образуется только непереработанных твердых бытовых отходов 140 млн. м³, а к 2005 году эта цифра возрастет до 190 млн. м³.

Не менее остро стоит проблема утилизации промышленных и бытовых отходов, попадающих в канализацию. Объем осадков, образующихся на станциях аэрации (СА) г. Москвы, равен 0,5-1,0% расхода обрабатываемых сточных вод, что составляет около 30 тыс.м³/сут техногенных масс с относительной влажностью около 97% (10 млн.м³/год или около 10% всех сточных вод в России). До недавнего времени проблема складирования отходов решалась путем размещения их на территории Москвы и в Московской области. Однако интенсивное жилищное строительство, отказы в отведении новых площадей администрацией Московской области и более жесткие требования экологической безопасности вынуждают искать новые подходы и решения к вопросам складирования отходов и рекультивации нарушенных площадей.

По данным ГОСКОМЭКОЛОГИИ на территории РФ в различного рода хранилищах скопилось свыше 1500 млн. т промышленных и бытовых отходов. Ежегодно образуется 84 млн.т таких отходов, в том числе 1 класса опасности - 320 тыс. т, 2-го класса - 1,9 млн. т.

Таким образом, разработка схем складирования коммунальных отходов, обеспечивающих экологическую безопасность, низкую землеемкость и ускоренную рекультивацию, является актуальной научно-практической задачей.

Целью работы является инженерно-геологическое обоснование технологий складирования коммунальных отходов различного происхождения, состава и свойств, обеспечивающее снижение землеемкости и экологическую безопасность объекта на всех этапах его существования.



Идея работы заключается в совместном складировании твердых отходов и илового осадка на основе горных технологий возведения намывных и насыпных массивов, снижающем негативное влияние объектов на атмо-, гидро-, лито- и биосферы.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Совместное складирование твердых отходов и илового осадка обеспечивает снижение времени "отдыха", землеемкости и ускоренную рекультивацию техногенного массива. Формирование хранилищ в природных понижениях рельефа или старых выработках с установившимся природно-техническим равновесием необходимо сопровождать созданием дренажной сети, обеспечивающей режим подземных вод, близкий к естественному.

2. Выбор отвального оборудования при формировании хранилищ необходимо производить с использованием полученной зависимости $V_{ГО} = 2 \cdot R_p \cdot h \cdot n \cdot (b + h/tga) \cdot (n-1)$, обеспечивающей максимальную вместимость хранилища и беспрепятственный доступ рекультивационного оборудования на поверхность техногенного массива.

3. Хранилища отходов должны оборудоваться утилизационными комплексами, включающими в себя газывыводящие скважины и водосборные колодцы и объединенные в комбинированную технологию, и установки по очистке фильтрата и сбору выделяющегося из техногенного массива газа.

4. Рекультивацию объекта необходимо сопровождать формированием техногенного рельефа с учетом остаточных осадок ($S_{ост}$), обеспечивающих создание заданного противозерозионного рельефа и сети поверхностного стока. Комплексный контроль за интенсивностью и характером осадок техногенного массива наряду с инструментальными наблюдениями осуществляется с применением датчиков-пьезодинамометров, причем управляющие сети выводятся через водосборные колодцы.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций работы подтверждается: использованием теоретических представлений инженерной геологии техногенных массивов при оценке их состояния; представительным объемом геологической документации, результатами полевых и лабораторных исследований свойств отложений

техногенных илов различного возраста; удовлетворительной сходимостью теоретических расчетов с данными натурных измерений (расхождение составляет менее 10%); использованием теории фильтрационной консолидации и теории предельного равновесия сыпучих сред со сцеплением для обоснования методики моделирования состояния нестабилизированных водонасыщенных техногенных илов.

Новизна исследований заключается в инженерно-геологическом обосновании экологически безопасных технологий совместного складирования твердых отходов и илового осадка, полученных зависимостей вместимости хранилища от вида отвального оборудования и разработке методики комплексного мониторинга состояния сооружения.

Научное значение работы заключается в обосновании методики инженерно-геологических исследований массивов городских отходов; классификации техногенных массивов по способу складирования и установлении зависимости вместимости хранилищ от параметров отвального оборудования.

Практическое значение работы состоит в разработке технологий формирования хранилищ отходов городских агломераций с достаточной степенью экологической защищенности окружающей среды; разработке конструкции защитных сооружений, предотвращающих попадание атмосферных осадков и поверхностных вод в тело техногенного массива, фильтрата в подземные водоносные горизонты и выход газов в атмосферу, разработке конструкции основания хранилищ, обеспечивающих естественный режим подземных вод; разработке системы контроля состояния хранилищ совместного складирования.

Реализация результатов работы. Разработанные технические решения и предложения по созданию хранилищ отходов использовались ЗАО "ТК "Люблино" и трестом "Мосстроймеханизация-5". Разработки по гидромеханизированной очистке иловых карт использовались при проектировании ПК "Гидромехпроект".

Апробация работы. Результаты исследований докладывались на III международной экологической конференции "Охрана окружающей среды на пороге третьего тысячелетия в интересах устойчивого развития" (Москва, 1999), конференции по итогам Всероссийского конкурса на лучшую научную работу студентов вузов горного профиля (Екатеринбург,

1999), IV международной экологической конференции «Роль науки и образования для устойчивого развития на пороге 3-го тысячелетия» (Москва, 2000), шестой международной экологической конференции студентов и молодых ученых "РИО+10: Экологическая безопасность как фактор устойчивого развития" (Москва, 2002), первой международной конференции "Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр" (Москва, 2002), на симпозиуме "Неделя горняка" (Москва, 2001, 2002, 2004), на семинаре МГП "Мосводоканал" и семинарах кафедры геологии МГГУ (2002,2003).

Публикации по теме диссертации. По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения, списка использованных источников из 112 наименований, содержит 38 рисунков и 11 таблиц.

Автор выражает глубокую признательность своему руководителю проф. Кириченко Ю.В., зав. каф. геологии проф. Гальперину А.М., а также коллективу кафедры геологии МГГУ за помощь, ценные советы и внимание к работе.

Основное содержание работы

В настоящее время промышленно развитое общество уделяет много внимания проблеме отходов. Проблемам комплексного использования сырья, разработке новых экологически безопасных технологий складирования отходов различных отраслей промышленности и коммунального хозяйства и их инженерно-геологическому обоснованию посвящены исследования Ржевского В.В., Трубецкого К.Н., Осипова В.И., Томакова П.И., Коваленко В.С., Попова В.Н., Фисенко Г.Л., Русского И.И., Гальперина А.М., Горлова В.Д., Мироненко В.А., Стрельцова В.И., Шпакова П.С., Зотева В.Г., Кутепова Ю.И., Нурок Г.А., Крячко О.Ю., Ермолова В.А., Кириченко Ю.В., Невзорова А.Л., Анистратова Ю.И., Яковлева С.В., Карелина А.А., Соломина И.А., Ишкова А.Г., Загорского В.А. и др. Полный кругоборот материалов без возникновения отходов не представляется возможным еще в течение длительного времени. Одной из причин этого является отсутствие технологий и мощностей по вторичной переработке отходов.

Твердые отходы (ТО) состоят из мусора, который образуется в жилых и общественных зданиях, отходов промышленных и пищевых предприятий, шлака и золы от котельных и ТЭЦ, шламов очистных сооружений, изношенных шин, дворового и уличного смета, листвы, скошенной травы, бытового мусора (до 70% от общего объема ТО) и т.д.

Если учесть, что примерно 10% мусора является действительно ценным сырьем, рассматривать отходы как источник сырья можно лишь в будущем. Отходы, не пригодные для переработки в ближайшее время размещаются на долговременных промежуточных складах. Размещение отходов в настоящее время ведется в накопителях двух основных типов - хранилищах и могильниках. Хранение (складирование) отходов подразумевает их изоляцию на специально отведенной площади с учетом временной нейтрализации их воздействия на окружающую среду. Для такого типа накопителя характерно установление предельного времени нахождения отходов в местах складирования, после истечения которого возможна вторичная переработка (утилизация) отходов. Захоронение отходов - это их долговременная изоляция, направленная на исключение попадания загрязнителей в окружающую среду, проникновение инфильтрационных вод в тело техногенного массива и исключая дальнейшее использование отходов.

По способу складирования техногенные массивы (ТМ) можно классифицировать (рис. 1):

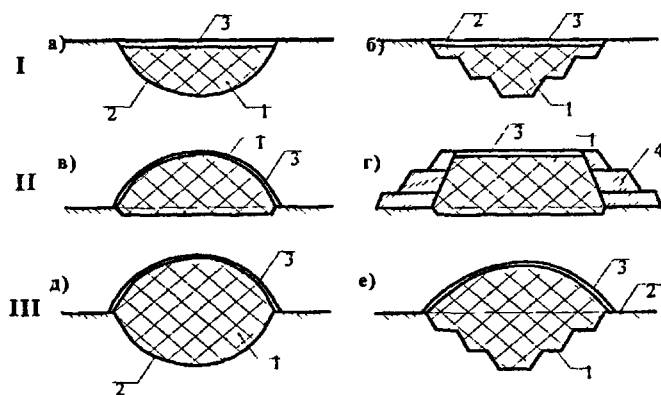


Рис. 1. Основные типы хранилищ.

I – заглубленные; II – поверхностные; III – комбинированные
а, д – в естественных углублениях рельефа; б, е – в искусственных углублениях

- • заглубленные, когда "тело" ТМ находится ниже поверхности земли, а после рекультивации может восстанавливаться естественный рельеф (отработанные карьеры) или создаваться техногенный (овраги, балки и т.п.); при этом формирование ТМ возможно: без специальных мероприятий по изоляции подземных вод, в случае наличия достаточного естественного изолирующего слоя или со специальными мероприятиями по предотвращению попадания загрязнителей в водоносные горизонты (когда используются естественные или искусственные грунтовые экраны из глин и суглинков, или негрунтовые искусственные - полимерные пленки, асфальтобитумные материалы, а также их комбинации);

- поверхностные, расположенные выше дневной поверхности земли, которые также делятся на ТМ, формируемые без специальных мероприятий по изоляции поверхностного стока или с использованием мероприятий по предотвращению его проникновения вглубь ТМ;

- комбинированные, на которых часть отходов складировается в естественную или искусственную выемку, а оставшиеся - сверху, создавая выпуклый техногенный рельеф.

Ежегодно в Москве образуется более 2,5 млн.т бытовых отходов, 3 млн.т промышленных, 1,6 млн.т строительных и 5,2 млн.т илового осадка 60 % влажности, что сопоставимо с объемами отходов горного производства, а уровень их промышленной переработки очень низок.

Зарубежный опыт по технологии формирования и оснащению свалок во многом превосходит российский. В европейских странах полигоны - это обычное предприятие, где действуют все законы по его безопасному функционированию. Отходы сортируются по основным видам (бумага, металлы, стекло, пластик и пр.) и идут на переработку, а непригодные отходы хоронятся на специальных полигонах или сжигаются. Наши полигоны (на которые попадает до 90% ТБО), в большинстве случаев, - это карьеры, куда свозятся отходы. Сам процесс захоронения отходов включает трамбовку мусора гусеничными тракторами и засыпание спрессованных отходов небольшим слоем грунта.

Не менее остро стоит проблема утилизации промышленных и бытовых отходов, попадающих в канализацию: Курьяновская, Люберецкая и Люблинская станции аэрации среднесуточно перерабатывают 6,3 млн.м³

сточных вод, в том числе: бытовых 4,6 млн.м³/сут, промышленных 1,3 млн.м³/сут и условно-чистых порядка 0,32 млн.м³/сут.

Оценивая в целом технологию гидромеханизированной подачи сточных вод на очистные сооружения станций аэрации и впоследствии складирование обезвоженного осадка на иловых картах, можно сделать вывод об идентичности проблем складирования близких по агрегатному состоянию водонасыщенных покровных отложений в горной промышленности и водонасыщенного илового осадка в коммунальном хозяйстве. Причем, землеемкость гидроотвалов на порядок и более ниже, чем землеемкость традиционных иловых карт станций аэрации, а сроки возврата нарушенных гидроотвалами земель в сферу народного хозяйственного использования даже для массивов мощностью более 50 м в 10-20 раз меньше, чем иловых площадок.

Необходимо отметить основные аспекты, определяющие подобие этих массивов: большие объемы складирования; дефицит площадей; высокая водонасыщенность; низкая водоотдача, следовательно плохая уплотняемость; близкие физико-механические свойства; высокая сжимаемость; низкая несущая способность и т.п.

Поэтому можно сделать вывод о целесообразности инженерно-геологических исследований илового осадка по методике и с применением оборудования, используемого в горном деле, с целью разработки технологий складирования осадка на основе опыта формирования намывных массивов на горнодобывающих предприятиях.

С целью разработки геотехнологии возведения хранилищ отходов городского хозяйства, обеспечивающей высокую степень экологической защищенности окружающей среды целесообразно выделить перспективные направления исследований. Эти исследования должны предусматривать выбор конструкции хранилища и технологии его возведения, обеспечивающих минимальные площади нарушения земель за счет снижения землеемкости и повышения плотности укладки водонасыщенных техногенных илов, посредством формирования хранилищ повышенной вместимости и совместного складирования илового осадка и твердых отходов, создания надежных защитных сооружений, предохраняющих гидро-, лито- и атмосферы от негативного воздействия. Необходимо разработать схемы контроля за состоянием массива на всех стадиях его

существования (строительство, формирование, рекультивация и последующее использование).

С целью обоснования применимости горных технологий в коммунальном хозяйстве были проведены исследования массивов техногенных илов СА. Исследования включали в себя как комплексное зондирование комбинированным зондом МГГУ-ДИГЭС, так и лабораторные исследования образцов с целью определения свойств, а также агрохимический анализ. Несмотря на то, что на станции аэрации поступают усредненные стоки, на иловых площадках хранится осадок различного возраста (0-100 лет) и, следовательно, свойств. Поэтому при отборе осадка для испытаний учитывался временной фактор.

Опробованию подвергались часть Люблинских полей фильтрации (ЛПФ), объект "Видное", а также современный осадок из фильтр-прессов.

Деформационные характеристики илов опытной площадки определялись в ходе компрессионных испытаний, диапазон уплотняющих нагрузок с учетом мощности илов был выбран 0,0-0,2 МПа. На рис. 2а приведена обобщенная компрессионная зависимость $\varepsilon=f(P)$ и на рис. 2б зависимость коэффициента сжимаемости от уплотняющей нагрузки для обезвоженного илового осадка вида $a=f(P)$.

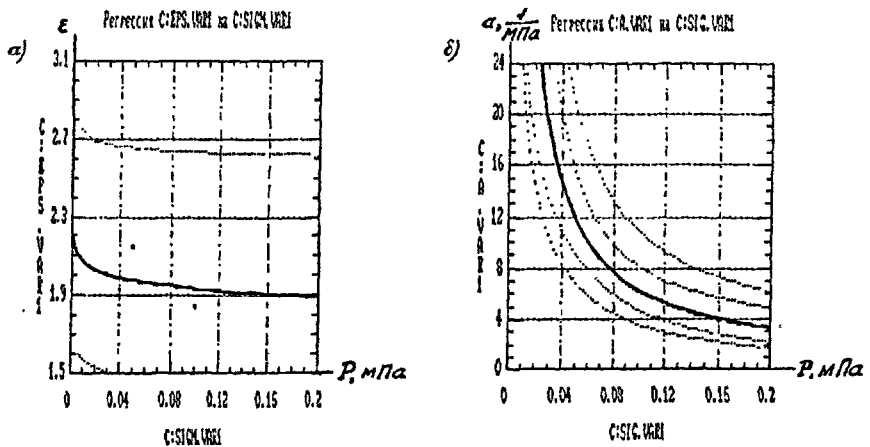


Рис. 2. Результаты компрессионных испытаний.

Прочностные характеристики определялись в ходе сдвиговых испытаний по методикам быстрого и медленного сдвига, также были

проведены испытания на изучение длительной прочности. Полученные с использованием формулы

$$c(t) = [c_{\sigma}(c_{\sigma} - c_{\infty})] t_p / (t_p + T_h), \quad (1)$$

(где c_{∞} – предельно-длительное сцепление, t_p – момент разрушения горной породы, T_h – параметр, имеющий размерность времени)

параметры c_{∞} и T_p оказались близки параметрам намывных отложений гидроотвалов Кузбасса и КМА.

Состав твердых отходов городского хозяйства весьма разнообразен и изменчив в зависимости от административной принадлежности (спальные районы или деловой центр города, новостройки на свободных площадях или на месте сносимых зданий и т.п.), времени года и уровня жизни населения.

Рост объемов ремонтных и строительных работ зданий предопределили увеличение количества строительных отходов, которые по своим физико-механическим свойствам и составу близки к дресвяным породам вскрыши на разрезах Кузбасса. Мусор, получаемый при сносе зданий, можно отнести к обломочным породам (технического происхождения), обладающим высокой водопроницаемостью ($K_f \geq 0,1 \text{ м/сут}$) и значительной несущей способностью ($P_{\text{доп}} \geq 0,1 \text{ МПа}$). Проанализирован также состав золошлаков тепловых электростанций.

При проектировании и осуществлении захоронения осадков сточных вод и твердых отходов необходимо обращать особое внимание на надежную изоляцию техногенного массива, которая должна выполнять следующие функции: защищать от фильтрата подземные водоносные горизонты; не пропускать атмосферные осадки, поверхностные и подземные воды; не допускать свободный выход газов из тела техногенного массива. Наиболее радикальным средством, применяемым для такой защиты, является создание противofильтрационных экранов, которые могут иметь естественное и искусственное происхождение.

В первом случае на месте будущего хранилища оставляют естественные отложения глинистого состава (глины, тяжелые суглинки) мощностью не менее 3 м. Такие естественные экраны используются для нетоксичных и химически неагрессивных веществ.

Искусственные противофильтрационные экраны могут выполняться из грунтовых (торф, суглинков, глина) и негрунтовых (полимерные пленки, асфальтобитум и т.п.) материалов. Многослойные экраны предусматривают применение одного и того же или нескольких материалов, и могут включать также дренажные устройства (рис. 3). Надежное соединение нижнего и поверхностного экранов является необходимым условием герметизации хранилищ отходов.

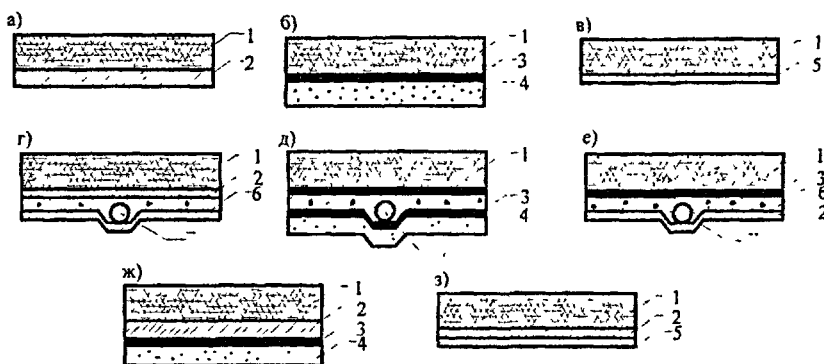


Рис. 3. Противофильтрационные экраны.

а) однослойный глинистый; б) однослойный пленочный; в) однослойный асфальтовый; г) двухслойный глинистый; д) двухслойный пленочный; е) двухслойный пленочно-глинистый; ж) комбинированный из полиэтиленовой пленки; з) комбинированный из асфальтового покрытия

1 – защитный слой грунта; 2 – уплотненный слой глинистого грунта; 3 – полиэтиленовая пленка; 4 – подстилающий слой песка; 5 – слой асфальтополимербетона или грунтово-полимерной смеси; 6- дренажный слой из водо-проницаемого грунта; 7- дренажная труба

Анализируя вышеизложенное, можно сделать вывод о необходимости инженерно-геологических исследований оснований будущих хранилищ, а также отходов. Состав их может соответствовать подобным исследованиям в горнодобывающей промышленности, гидротехническом строительстве и т.п. Опыт производства таких работ накоплен в МГУ, ВНИМИ, ВИОГЕМе и др.

Основная задача инженерно-геологических исследований заключается в оценке водопроницаемости ложа будущего сооружения и фильтрационных характеристик местных водоупоров, которые предполагается использовать в качестве защитного экрана, создавая для этой цели барьеры, под которыми понимают технические средства

изоляции фильтрационных вод. При проектировании необходимо провести представительные изыскания (или проанализировать результаты существующих) гидрогеологических условий района строительства. Особое внимание необходимо уделить сезонным колебаниям уровня подземных вод, обнаружению областей разгрузки и питания водоносных горизонтов. Также необходимо учитывать литологический состав основания и бортов сооружения с точки зрения использования извлекаемых пород: для устройства дренажных сооружений, создания экранов и рекультивации поверхности хранилища или в качестве полезного ископаемого.

Автором предпринята попытка классификации районов расположения хранилищ отходов с инженерно-геологических позиций (рис. 4).



Рис. 4. Классификация района расположения хранилищ отходов по инженерно-геологическим условиям.

1 – предполагаемое хранилище; 2 – максимальный уровень безнапорного водоносного горизонта; 3 – водоупор; 4 – сулинки; 5 – глина; 6 – река; 7 – зона отдыха; 8 – напорный водоносный горизонт; 9 – половежье.

Согласно этой классификации спроектированное хранилище илового осадка в западной части выработанного пространства карьера Подольского экспериментального цементного завода (ПЭЦЗ) относится к условно благоприятным, а остальная часть - к неблагоприятным. Разработанная технология складирования иловых осадков от фильтр-прессов предусматривает: планировку ложа хранилища; создание подстилающего экранирующего слоя; создание в основании системы трубчатых и пластового дренажа, соединяемых с зумпфом за пределами массива; создание системы ограждающих дамб; обеспечение доступности для рекультивационного оборудования во внутренние зоны хранилища

посредством создания несущего фильтрационного слоя; формирование слабовыпуклого техногенного рельефа; создание поверхностного водоотвода и пруда-отстойника (зумпфа) за пределами хранилища. Складирование илового осадка в выработанном пространстве карьера ПЭЦЗ предусматривает применение мобильной канатно-скреперной установки.

Для обеспечения экологической безопасности объекта определена долговременная устойчивость откосных сооружений. Разработана конструкция откосных сооружений хранилища, обеспечивающая коэффициент запаса устойчивости $\eta = 1,202$ (нормативный $\eta \geq 1,2$).

Для предотвращения заболачивания и плоскостной эрозии создается слабовыпуклый рельеф на рекультивированной территории. Иловый осадок по своим свойствам близок к намывным суглинкам, поэтому можно использовать теорию фильтрационной консолидации. Формирование такого рельефа проводится с учетом конечных осадок техногенной толщи. Величина максимальной осадки S_{max} определяется согласно

$$S(t) = a_0 \cdot P \cdot h_n \cdot U(t) \cdot \beta \quad (2),$$

где a_0 – приведенный коэффициент сжимаемости; P – внешняя нагрузка; h_n – мощность толщи; U – степень уплотнения; β – коэффициент, учитывающий боковой распор.

Предусматривается отсыпка песчаного пористого штампа на поверхности, обеспечивающего двусторонний дренаж поровой жидкости и ускоряющий процесс консолидации массива, мощностью 16 м.

Как показывает опыт, уплотнению подвергается не вся мощность толщи, а лишь ее часть, называемая «активной», величина которой (H_a) зависит от уплотняющей нагрузки и величины начального градиента фильтрации.

Несущая способность $P_{дон} = P_{кр}^{np} \cdot \eta$ (3) (где $P_{кр}^{np}$ – предельная критическая нагрузка) оценивалась с помощью графика $P_{кр}^{np} = f(c, \varphi, \alpha)$ с учетом коэффициента запаса $\eta = 1,2$. Установлено, что $P_{дон} > 0,15$ МПа, при котором возможно безопасное перемещение оборудования, достигается при значении коэффициента пригрузки $\alpha = q_1/c = 1$, соответствующее мощности песчаной подушки 1,5 м:

При депонировании отходов в природных понижениях рельефа необходимо создавать специальный дренирующий слой, изолированный от

дренирующего основания хранилища. Он должен выполнять дренирующую роль оврага, то есть собирать и отводить разгружающиеся в нем подземные водоносные горизонты. Поверхность всего сооружения должна быть "вписана" в естественный рельеф с организацией ливнеотоков для сбора и отведения поверхностных вод.

Разработанная технология складирования илов от фильтр-прессов на площадке "Видное" предусматривает углубление существующих карт с разделением их дамбами-перемычками на 4 секции для обеспечения поэтапной подготовки рабочих емкостей и создание дренажной и защитной систем. Оценка возможных объемов отжимаемой из массива воды произведена с учетом изменения пористости складированных осадков под действием уплотняющей нагрузки, изменяющейся в диапазоне 0-0,12 МПа.

Укладка илового осадка, доставляемого автотранспортом, производится с применением драглайна Э-2503 (Э-2505). При подготовке хранилища к рекультивации на иловый массив экскаватором укладывается слоями фильтрующий материал общей мощностью 1 м, обеспечивающий достижение несущей способности массива до $P_{дон} = 0,15$ МПа. Затем производится укладка слоя суглинков мощностью до 0,5 м, которые используются в качестве подпочвенного слоя или для лесотехнической рекультивации. Слабовыпуклый рельеф создается с превышением $h=0,7$ м гребня над краевыми частями, исходя из величины расчетных осадок техногенного массива ($S_{осн} = 0,4$ м).

Технология складирования илового осадка с фильтр-прессов на опытно-производственном участке площадки № 8 заключается в выемке и вывозе необезвоженного старого илового осадка в объеме 301,5 тыс.м³, снятии в основании и вывозе загрязненного фильтратом грунта в объеме 126 тыс.м³, углублении существующих карт с глубины 2,5-3,0 м до 6,5-7,0 м (объемы работ 350 тыс.м³). Дно и борта площадки покрываются противофильтрационной тканью ДОРНИТ, поверх которой отсыпается слой щебня мощностью до 0,3 м, перекрытый тканью ДОРНИТ. В южной части участка оборудованы колодцы для сбора и сброса фильтрационных вод.

Складирование илов производилось краном грейферного типа с радиусом разгрузки $R_p < 10$ м. Малый радиус разгрузки не позволял грейферу формировать массив полного профиля, так как техногенные илы

весьма тиксотропны и склонны к растеканию. Отсыпка глинистого материала непосредственно на осадок с применением бульдозеров невозможна из-за низкой несущей способности илового массива. Нами разработаны два варианта формирования хранилища:

I вариант предусматривает разделение ее посередине дренажной призмой (дамбой) из раздельнозернистых пород, которая обеспечит отвод фильтрата из илового осадка и будет служить опорной полосой для отвального оборудования;

II вариант учитывает отсутствие отвального оборудования с радиусом разгрузки, превышающем 0,5 ширины хранилища. В этом случае предусмотрено разделение массива илов по горизонтали дренажными, прослоями на две и более части в зависимости от мощности отложений. С учетом рекомендаций МГТУ сформировано хранилище на опытно-производственном участке площадки № 8 ($S=2,7$ га, $V=180$ тыс. м³), на котором проведена горнотехническая рекультивация.

В обоих случаях при подготовке хранилища к рекультивации необходимо производить отсыпку на сформированный массив дренирующего материала слоями малой мощности (0,2...0,4 м) по периметру участка с постепенным продвижением к центру, что обеспечивает возможность дальнейшей рекультивации объекта.

Старые иловые карты постепенно заросли камышом, осокой, водным орехом и другой водной растительностью. До недавнего времени очистка карт производилась только выдавливанием осадка песком, имеющим более высокую плотность, чем техногенные илы. Разработанная МГГУ и ПК "Тидромехпроект" с участием автора технология очистки иловых карт предусматривает применение землесосных снарядов. Однако эффективность их использования значительно снижается вследствие высокой засоренности растительностью забойного пространства. Кроме этого, наличие растительных остатков в иловом осадке усложняет процесс дальнейшего обезвоживания на фильтр-прессах.

С целью исключения этих недостатков предложена технология опережающей очистки рабочей зоны земснарядов от посторонних плавающих и полузатопленных предметов. Она включает в себя плавающую двухзвеньевую гребенку, имеющую зубья с заточенными краями и способную менять величину заглубления посредством изменения

угла наклона специальных направляющих пластин-элеронов (рис. 5). При выборке троса лебедкой гребенка раскрывается, захватывая и срезая растительность, и транспортирует ее на борт иловой карты (рис. 5а).

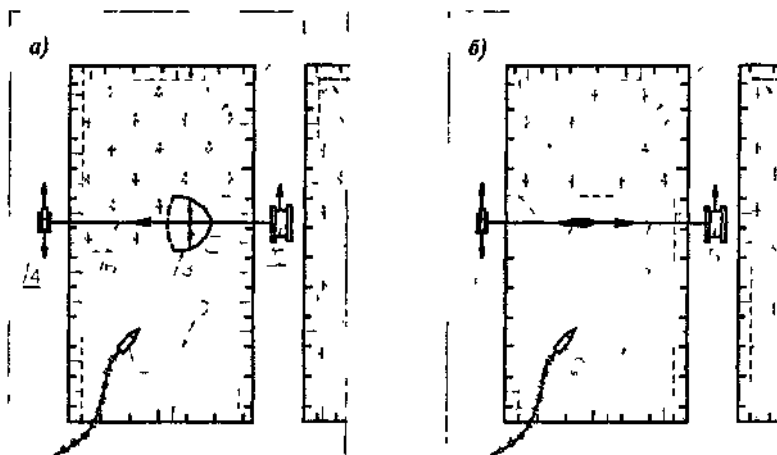


Рис. 5. Технология очистки иловых карт.

а) рабочий ход б) холостой ход

1 – иловая карта, 2 – земснаряд, 3 – двухзвеньевая гребенка, 4 – трактор с двухбарабанной лебедкой, 5 – несамоходные сани с блоком, 6 – трос, 7 – ограничительная цепь, 8 – навал срезанной растительности, 9 – очищающее пространство

В связи с тем, что в пределах карт добывается наряду с осадком до 20-30% мелкозернистого песка (в том числе загрязненное фильтратом основание) разработана и внедрена технологическая схема подачи илов в цех механического обезвоживания осадка (ЦМОО) с предварительным отбором в гидрокласификаторе песчаной фракции и использование песка для нужд производства. Так как качество классифицируемого песка значительно снижается вследствие засоренности его мелким растительными остатками, щепой и другим мусором, предложено устройство для очистки пульпы от органических включений, содержащее вогнутую пластину с щелями, над которой установлен с возможностью вращения очиститель в виде лопастей. Устройство обеспечивает непрерывный цикл удаления из пульпы органических включений (например, корней растений, водорослей, древесных остатков и т.п.), предотвращая при этом засорение отверстий пластины.

Эффективность предложенной очистки карт обеспечивается поточностью технологической схемы, снижением материальных и трудовых затрат, уменьшением общего количества используемого оборудования, добычей попутного полезного ископаемого - песка, повышением срока службы оборудования ЦМОО и т.п.

Разработана схема рекультивации Люблинских полей фильтрации. Основное сооружение полигона - насыпной холм, сложенный иловым осадком и специальными системами грунтовых обвалований, послонных изоляций и перекрытий, должен стать в итоге «зеленым барьером» на линии визуальной связи микрорайона «Марьино» и промзоны «Капотня». С этой целью высота холма проектируется на 10-15м выше уровня земли промзоны. Создание полноценной парковой зоны предусматривается также выполнение основных агро- и лесомелиоративных мероприятий, в том числе: формирование почвенно-растительного покрова на перекрытом участке; облесение и залужение склонов; озеленение временно отведенной территории.

На заключительном этапе на насыпном холме устраиваются горнолыжные и санные спуски, прочие прогулочные и спортивные трассы. Поверхность холма может быть использована в качестве ботанического сада, но с ограниченным присутствием древесной растительности (во избежание нарушения изолирующих слоев перекрытия насыпного холма).

Решение при этом проблемы устойчивости откосных сооружений невозможно без серьезного геомеханического обоснования формы и геометрических параметров насыпных массивов. Основными геомеханическими критериями экологической безопасности объекта в рассматриваемом случае являются устойчивость, осадки и несущая способность сооружения. Расчеты устойчивости насыпного холма включали около 30 вариантов, рассматривающие разные конфигурации песчаных дамб, ограждающих массив иловых осадков при различных высотах и углах откосов дамб (рис. 6). Был определен максимальный угол откоса, равный $30^{\circ}41'$.

Переслаивание илового осадка пригрузкой из дренирующих пород (песка, строительного мусора или золошлаков ТЭЦ) позволяет возводить сооружение обычными строительными механизмами. Применение канатно-скреперной установки позволит увеличить долю илового осадка.

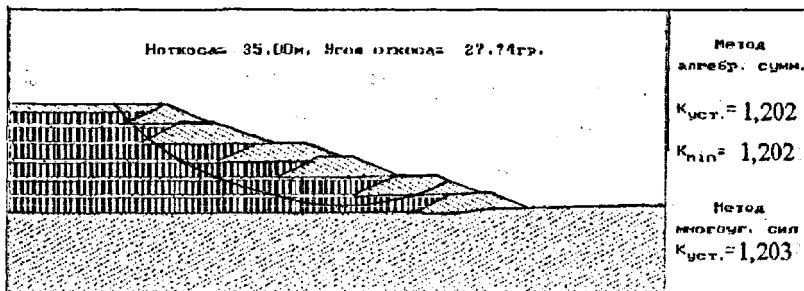


Рис. 6. Расчеты устойчивости хранилища.

Наибольшую сложность представляет формирование хранилищ повышенной вместимости, в которых водонасыщенные иловые осадки не переслаиваются дренажными "подушками" (штампом), а отсыпаются на всю мощность. В этом случае обязательным условием является применение отвального оборудования (экскаваторов, грейферов или кранов), перекрывающих при разгрузке середину хранилища. Причем, их применение оправдано на заключительных этапах формирования хранилища и при горнотехнической рекультивации объекта. В этом случае экскаватор формирует слабовыпуклый (выпуклый) техногенный рельеф и отсыпает первые слои дренажной "подушки". Защитный и корнеобитаемый слои могут формироваться бульдозерами. Такая технология позволяет увеличить приемную способность хранилища, т.к. его формирование не зависит от производительности экскаватора - автосамосвалы разгружаются под откос, а опорные дамбы формируются бульдозерами (рис. 7).

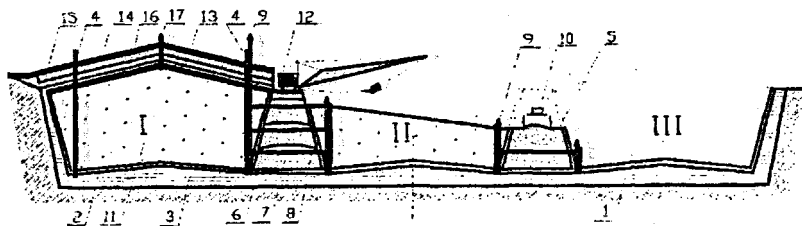


Рис. 7. Технология совместного складирования.

1 - котлован; 2 - водонепроницаемый экран; 3 - дренажное основание; 4 - водосборные скважины; 5 - разделительные полосы; 6, 7 - твердые отходы разной плотности; 8 - перфорированные патрубки; 9 - газоотводящие трубы; 10 - бульдозер; 11 - водонасыщенные отходы; 12 - драглайны; 13 - дренажная подушка; 14 - водоупорный экран; 15 - рекультивационные суглинки; 16 - корнеобитаемый слой; 17 - газоотводящая скважина.

Посекционно или на всей площади предлагаемого хранилища роется котлован. На границе первой секции производится послойная отсыпка опорной полосы из твердых отходов с уплотнением бульдозерами. После формирования первой очереди опорной полосы высотой до 2-х метров, на ее поверхности создается слой из песка, гравия, щебня или строительного мусора мощностью до 0,5 м и служащего трассой для драглайна (крана).

Драглайн производит формирование собственно хранилища илового осадка, доставляемого автотранспортом или с внешнего периметра I секции, или с опорной полосы. Параллельно складированию техногенных илов производится формирование опорной полосы из твердых отходов на I и II секции. После заполнения I секции до отметки верха первой очереди опорной полосы на границе I и II секций производится отсыпка следующего слоя. Впоследствии операции повторяются вплоть до заполнения хранилища в пределах I секции до проектных отметок с формированием слабовыпуклого техногенного рельефа.

Сформированный массив илового осадка для ускорения консолидации покрывается дренажной подушкой из песка слоями 0,3 м и общей мощностью до 1,5 м в зависимости от вида хранилища и мощности складироваемых отложений. Поверх него формируется изолирующий слой из глины, тяжелых суглинков или геомембраны. Затем формируется защитный слой из суглинков мощностью примерно 1,2 м и при необходимости корнеобитаемый слой из чернозема. Подготовка ложа хранилища, создание опорных полос могут производиться параллельно, чем достигается сокращение площадей нарушаемых земель за счет посекционной рекультивации объекта.

Секции хранилища оборудуются газоотводящими скважинами. Нами разработана такая конструкция скважин, которая совмещает газоотводящую систему, водосбор и коммуникационные сети от контрольной аппаратуры. Еще одним преимуществом разработанной конструкции является посекционное возведение скважины, при котором газоотводящие патрубки укладываются в массив твердых отходов.

В зависимости от типа хранилища и вида отвального оборудования предложенная технология обеспечивает формирование комбинированного техногенного массива мощностью до 9–18 м и возможность ускоренной рекультивации нарушенных территорий. Преимуществом схемы является

значительное снижение землеемкости хранилища (до 9-17 га/млн.м) за счет совместного депонирования илового осадка и твердых отходов. Использование разработанной технологии в комплексе с мероприятиями по ускорению консолидации техногенных илов и способами подготовки и проведения горнотехнической рекультивации позволяют снизить негативное влияние этих объектов на окружающую среду.

При обосновании параметров хранилищ учитывался вид сооружения и затем геометрическая форма имеющейся емкости или отведенного под хранилище участка. Естественные выемки с этой точки зрения можно разделить на следующие виды: полусферические (котлованы, котловины, карьеры); вытянутые в плане и профиле (карьеры, траншеи); переменные в плане и профиле (овраги, балки, лога). По степени трудности проектирования сооружения наибольшую сложность представляют выемки последнего типа.

Определение оптимальных параметров будущего сооружения производилось с учетом максимальной вместимости определенного вида отходов и минимальной землеемкости хранилища в целом. Вместимость хранилища определяется выражением

$$V_{TO} = 2R_p \cdot h \cdot n(h + h/tg\alpha)(n-1) . \quad (4)$$

где R_p – радиус разгрузки, м; h – глубина хранилища, м; n – количество отвальных заходок; b –ширина опорной полосы (дамбы), м; α –угол откоса дамбы, град.

Мониторинг хранилищ осуществляется организацией сети геотехнического контроля создаваемого массива, включающим, в первую очередь, маркшейдерские наблюдения за деформациями дамб и массива и заложение в основание и в тело массива датчиков порового давления, а также комбинированное зондирование техногенных илов и оборудование гидронаблюдательных скважин по периметру хранилища. Разработанная система инженерно-геологического обеспечения экологической и производственной безопасности предусматривает также контроль за качеством воды в ближайших водоемах и воздухом в приземном слое атмосферы. По результатам мониторинга принимаются оперативные управляющие решения.

Контроль позволяет корректировать мероприятия по адаптации техногенного массива к окружающей среде и оценивать уровень экологической безопасности объекта.

Заключение

В диссертации дано решение актуальной научной задачи инженерно-геологического обоснования технологий возведения хранилищ отходов городского хозяйства, позволяющих в результате снижения их землеемкости, ускоренной рекультивации и восстановления нарушенных территорий снизить негативное воздействие объектов на окружающую среду.

Основные результаты и выводы, полученные лично автором:

1. Традиционные технологии складирования коммунальных отходов не обеспечивают достаточной степени экологической защищенности вследствие высокой землеемкости возводимых объектов (до 1 м^2 на 1 м^3 отходов), опасности загрязнения окружающей среды, затрудненности рекультивации (из-за низкой несущей способности иловых осадков - $P_{\text{доп}} \ll 0,05 \text{ МПа}$) и отсутствия эффективного контроля за состоянием техногенных массивов.

Инженерно-геологическими исследованиями установлено, что техногенные илы станций аэрации и намывные суглинистые и меловые отложения гидроотвалов КМА и Кузбасса имеют близкие показатели физико-механических свойств, а строительные отходы являются аналогами дресвяных вскрышных пород разрезов Кузбасса. Технология гидротранспортирования сточных вод и технология складирования обезвоженного осадка на участках депонирования идентичны горным технологиям возведения намывных массивов, а складирование твердых городских отходов - отсыпке отвалов вскрышных пород. Это дает возможность применять опыт возведения техногенных массивов в горнодобывающей промышленности для проектирования и формирования хранилищ отходов коммунального хозяйства.

2. Разработаны схемы хранилищ илового осадка повышенной вместимости в выработанном пространстве карьера ПЭЦЗ и в пределах иловых площадок «Видное», которые обеспечивают снижение землеемкости в 7...9 раз, ускоряют время рекультивации объектов в 10 и более раз и восстанавливают нарушенные территории. Разработана

технология складирования илового * осадка на площадке №8, предусматривающая или возведение массива на всю мощность (при наличии оборудования с $R_p \geq b$) или послойное формирование с разделением по горизонтали илового массива пористым штампом.

Выполнено геомеханическое обоснование возможности складирования илового осадка в парковой зоне ЛПФ в двух хранилищах поверхностного типа вместимостью более 1.2 млн.м³ и определены их параметры. Разработан способ рекреационной рекультивации территории, включающий горнотехническую часть, агро- и лесомелиоративные мероприятия и повышающий эстетическую восприимчивость района.

3. Установлено, что проектирование защитных сооружений, обоснование вида хранилищ отходов и выбор технологии его возведения и рекультивации необходимо осуществлять на основе разработанной классификации инженерно-геологических условий района расположения техногенного массива и с учетом типа будущего объекта.

Экологическая безопасность хранилищ отходов обеспечивается исключением инфильтрации в массив поверхностных вод, устойчивостью к водной и ветровой эрозиям, сбором и отводом формирующихся в хранилище газов, исключением попадания фильтрата из массива в окружающую среду, рекультивацией хранилища с формированием эстетически восприимчивого рельефа и созданием дренажной сети, обеспечивающей режимы подземных и поверхностных вод, близкие к естественным.

4. Разработан способ очистки старых иловых карт от растительности при их гидромеханизированной разработке, а также приспособление для отделения от пульпы органических включений. Эффективность предложенной технологии обеспечивается поточностью технологической схемы, снижением материальных и трудовых затрат, уменьшением общего количества используемого оборудования, добычей попутного полезного ископаемого - песка, а также повышением срока службы оборудования.

5. Полученная зависимость $V_{10} = 2 \cdot R_p \cdot h \cdot n \cdot (b + h/tga) \cdot (n-1)$ обеспечивающая максимальную вместимость хранилища, использована в разработанной технологии совместного складирования твердых отходов и илового осадка, на которую подана заявка на патент РФ № 2003 116299/03

от 03.06.03. Разработаны схемы формирования хранилищ с применением различного отвального оборудования. Посекционное возведение хранилища позволяет уменьшить площади нарушенных земель и ускорить рекультивацию.

6. Разработана телескопическая конструкция газоотводных скважин, совмещающая газоотводящую систему, водосбор и водоотвод, а также коммуникационные сети от контрольной аппаратуры. С целью повышения эффективности отвальных работ скважины возводятся посекционно, а газоотводящие патрубки укладываются в массив твердых отходов.

7. Разработан метод объектного инженерно-геологического мониторинга хранилищ, включающий определение осадок техногенных массивов, комплексное зондирование и мониторинг откосных сооружений, а также наблюдения за гидрологической и воздушной обстановкой. Метод предусматривает как стационарные, так и мобильные средства контроля и позволяет корректировать мероприятия по адаптации техногенного массива к окружающей среде.

8. Разработанные технические решения и рекомендации по формированию массивов отходов использовались при складировании илов на площадке № 8 и в Марьинском парке. Предложения по гидромеханизированной очистке иловых карт использовались при проектировании этих работ на ЛПФ.

Основные научные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Котькова О.В., Пряженцова Л.Н. Инженерно-геологические исследования осадков станций аэрации города Москвы. Мат. III междунар. экологической конференции «Охрана окружающей среды на пороге третьего тысячелетия в интересах устойчивого развития», том 2., М., МГГУ, 1999, с. 65-68

2. Котькова О.В., Пряженцова Л.Н., Турченков С.А. Геоэкологический мониторинг гидроотвалов разрезов Кузбасса. Мат. конференции по итогам Всероссийского конкурса на лучшую научную работу студентов вузов горного профиля: тезисы докладов. - Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1999, с.25

3. Котькова О.В., Пряженцова Л.Н. Геомеханические исследования техногенных илов. Мат. IV междунар. экологической конференции «Роль науки и образования для устойчивого развития на пороге 3-го тысячелетия», М., МГГУ, 2000, с.215-217

4. Кириченко Ю.В., Котькова О.В. Геомеханическое обоснование конструкции упорной призмы овражно-балочных гидроотвалов. // Горный информационно-аналитический бюллетень.- М.: МГГУ, 2001, №6, с.66-68

5. Котькова О.В. Организация совместного складирования твердых отходов и илового осадка станций аэрации. // Горный информационно-аналитический бюллетень.- М.: МГГУ, 2002, № 10, с. 160-162

6. Котькова О.В. Организация хранилищ коммунальных отходов. РИО+10: Экологическая безопасность как фактор устойчивого развития. Сб. докладов/ Шестая международная экологическая конференция студентов и молодых ученых. Москва, МГГУ. 1-3 апреля 2002 г. Том 2. - Смоленск, Ойкумена, 2002 г., с. 120-122

7. Кириченко Ю.В., Котькова О.В., Федорова Ю.Е. Совершенствование методов получения оперативной информации о состоянии техногенных массивов.// Известия вузов. Геология и разведка 2002, №3, с. 99-103

8. Котькова О.В. Захоронение отходов коммунального хозяйства. Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: Мат. Первой международной конференции. Москва, 16-18 сентября 2002 г. - М.: Изд-во РУДН. 2002, с. 334-335

9. Кириченко Ю.В., Котькова О.В., Федорова Ю.Е. Инженерно-геологическое обеспечение экологической безопасности техногенных массивов. // Маркшейдерия и недропользование. №3, июль-сентябрь 2002, с. 44-47

10. Гудкова О.В. Инженерно-геологическое обоснование технологии возведения хранилищ отходов. // Горный информационно-аналитический бюллетень.- М.: МГГУ, 2004.

Формат 60x90/16

Подписано в печать

Объем 1,0 п.л.

Тираж 100 экз.

Заказ №571

Типография МГГУ. Ленинский пр., 6

■ - 2638