

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

*На правах рукописи*

*И.А.Абакумова*

**Абакумова Наталия Викторовна**

**Инженерно-геологические особенности насыпных грунтов  
территории города Москвы**

1.6.7. – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук,  
доцент Самарин Евгений Николаевич

Москва – 2024

## Оглавление

Введение.....	4
Глава 1. Современные представления о насыпных техногенных грунтах городских территорий .....	10
1.1. Источники формирования насыпных техногенных грунтов на территориях города.....	11
1.2. История изучения и классификации техногенных грунтов .....	14
1.3. Изученность состава, строения и свойств насыпных грунтов .....	32
1.4. Современные методы картирования массивов техногенных отложений .....	43
1.5. Выводы к главе 1 .....	45
Глава 2. Характеристика объектов исследования .....	47
2.1. Инженерно-геологические условия территории г. Москвы.....	47
2.2. Описание основных объектов исследования .....	50
2.3. Выводы к главе 2 .....	65
Глава 3. Методика решения поставленных задач .....	66
3.1. Принципы составления типизации насыпных грунтов территории города Москвы .....	67
3.2. Методы и методики изучения состава, строения и свойств исследуемых техногенных грунтов.....	70
3.3. Методика проведения комплексного ретроспективного анализа территорий .....	72
3.4. Выводы к главе 3 .....	75
Глава 4. Закономерности формирования состава, строения и свойств техногенно переотложенных насыпных грунтов (на примере массивов в западной части г. Москвы и месторождения строительных песков «Тимковское»).....	76
4.1. Характеристика состава, строения и свойств техногенных и природных суглинков полигона приема строительных отходов «Сосенки» .....	79
4.1.1. Состав грунтов .....	79
4.1.2. Строение грунтов.....	81
4.1.3. Состояние и свойства грунтов .....	84
4.2. Характеристика строения и свойств добываемых гидромеханизированным способом аллювиальных песков Тимковского месторождения (Московская область) .....	90
4.3. Характеристика строения и свойств техногенно переотложенных дочетвертичных отложений .....	91
4.4. Разрыхление грунтов при техногенном перемещении .....	93
4.5. Выводы к главе 4 .....	93
Глава 5. Типизация насыпных техногенных грунтов г. Москвы и прилегающих территорий .....	95
5.1. Схема типизации насыпных грунтов территории г. Москвы.....	95

5.2. Инженерно-геологические особенности выделенных типов насыпных техногенных грунтов на территории г. Москвы.....	98
5.2.1. Грунты насыпей линейных сооружений .....	98
5.2.2. Грунты песчаных подушек, обратных засыпок и насыпных территорий.....	100
5.2.3. Грунты гидротехнических сооружений.....	102
5.2.4. Грунты защитных экранов хранилищ коммунальных и промышленных отходов ....	103
5.2.5. Грунты планировки территории.....	104
5.2.6. Грунты полигонов приема строительных отходов.....	106
5.2.7. Грунты разрушенных строительных конструкций и дорожных покрытий .....	107
5.2.8. Грунты культурного слоя.....	108
5.2.9. Грунты несанкционированных строительных отвалов.....	109
5.2.10. Грунты полигонов твердых коммунальных отходов и несанкционированных свалок .....	110
5.2.11. Грунты-осадки сточных вод .....	111
5.2.12. Грунты-отходы металлургической промышленности .....	112
5.2.13. Грунты-отходы топливно-энергетической промышленности.....	112
5.2.14. Грунты строительных насыпей с примесью зол и золошлаков .....	113
5.2.15. Грунты отвалов строительных, бытовых и промышленных отходов .....	114
5.3. Выводы к главе 5 .....	115
Глава 6. Применение комплексного ретроспективного анализа при определении конфигурации массивов насыпных грунтов .....	116
6.1. Ретроспективный подход к моделированию массивов техногенных грунтов .....	120
6.2. Алгоритмический подход к моделированию массивов техногенных грунтов .....	121
6.3. Оценка алгоритмов.....	123
6.4. Комплексование алгоритмического и ретроспективного подходов .....	126
6.5. Особенности применения методики на региональном уровне (на примере территории г. Москвы) .....	128
6.6. Выводы к главе 6 .....	134
Выводы.....	136
Список литературы .....	138
Приложения .....	152
Приложение 1. Схема размещения объектов исследования .....	152
Приложение 2. Журнал объектов исследования .....	153
Приложение 3. Карты фактического материала и инженерно-геологические разрезы ключевых участков .....	164

## Введение

**Актуальность работы.** Техногенные грунты являются наиболее молодыми и наименее изученными геологическими образованиями и в соответствии с СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» [119] относятся к специфическим грунтам. На городских территориях широко распространены насыпные техногенные грунты, перемещение и укладка которых осуществляются с использованием транспортных средств. В г. Москве массивы насыпных грунтов встречаются практически повсеместно в виде земляных сооружений, засыпанных оврагов и русел рек, несанкционированных свалок, отвалов промышленных отходов и т.п., имеют мощность до 25 м и более. В пределах г. Москвы также располагаются крупные полигоны твердых коммунальных отходов (ТКО) и полигоны приема отходов строительства, высота которых достигает 45 м. При этом стремительными темпами продолжается накопление новых объемов насыпных грунтов.

При расширении селитебного пространства и уплотнении застройки происходит вовлечение массивов техногенных отложений в строительную деятельность, что вызывает необходимость решения вопросов, связанных с безопасным размещением зданий и сооружений на мощных толщах насыпных грунтов, рекультивации существующих отвалов, разработки проектов рационального использования строительных и промышленных отходов. На сегодняшний день детальное изучение насыпных грунтов, составление их типизации и разработка теоретических аспектов освоения занятых ими территорий актуальны не только на фундаментальном научном уровне, но и при разработке генеральных планов развивающихся городов и решении других практических задач.

**Степень разработанности темы исследования.** Результаты исследований, касающиеся вопросов образования, классифицирования и инженерно-геологических особенностей техногенных, в т.ч. насыпных грунтов, представлены в работах Ф.В. Котлова, М.И. Хазанова, Н.Н. Лущикина, Ю.М. Абелева, В.И. Крутова, А.П. Афолина, И.В. Дудлера, Р.С. Зиангирова, Ю.М. Лычко, О.А. Савинова, Е.М. Сергеева, А.М. Худайбергенова, Е.Н. Огородниковой, С.К. Николаевой, Д.В. Спиридонова, Д.С. Дроздова, В.Д. Ломтадзе, Ф.П. Саваренского, В.Т. Трофимова, В.А. Королева, Е.А. Вознесенского, М.А. Викторовой, А.Г. Кошелева, Н.В. Осинцевой, Н.С. Евсеевой, Е.П. Труфмановой, Е.М. Пашкина, Д.Ю. Здобина, А.А. Каздыма, Э.А. Лихачевой, А.Н. Галкина, Д.Ю. Чунюка, И.В. Аверина, О.В. Коптевой, В.Н. Широкова, М.Б. Куринова, В.Г. Шлыкова, И.А. Бражника, М. Edgeworth, D.deV. Richter, P. Haff, C. Neal, J.R. Ford, S.J. Price, A. Cooper, C. Waters, A. Peloggia, H. Kessler, A. Humpage, M. Rosenbaum, A. McMillan, J. Powell, M. Culshaw, K. Northmore и др.

Исследованием инженерно-геологических характеристик оптимальных грунтовых смесей занимались Е.Г. Борисова, А.Ю. Мирный, А.З. Тер-Мартirosян. Вопросы вторичного

использования отходов инженерно-хозяйственной деятельности человека рассмотрены в работах Т.А. Барабошкиной, С.Н. Владимирова, Н.Ю. Кирюшиной, Н.А. Ларионовой, Ю.М. Лычко, В.А. Мырина, Е.Н. Огородниковой, И.А. Паршакова, С.А. Сазоновой и др. Влияние массивов техногенных грунтов на компоненты окружающей среды отражены в работах В.Н. Аверьянова, А.М. Гальперина, А.С. Жерихина, В.А. Королева, Н.А. Ларионовой, В. Ферстера, Х.-Ю. Шефа и др.

Методы математического моделирования с целью определения степени техногенного изменения рельефа и построения пространственных инженерно-геологических моделей применялись J. Xiang, Sh. Li, K. Xiao, Ch. Jianping, G. Sofia, T. Paolo. Картирование техногенных отложений в пределах городских территорий, в т.ч. г. Москвы, проводилось Н.В. Аникиной, Е.А. Карфидовой, И.М. Кравченко, Э.А. Лихачевой, Л.С. Курбатовой, Е.И. Махориной, L. Sung ho, H. Dong soo, L. Pando, G. Flor-Blanco, S. Llana-Fúnez.

**Цель и задачи исследования.** Постоянно усложняющиеся технологии и методы подготовки территорий к строительству приводят к увеличению разнообразия типов насыпных грунтов, что вызывает необходимость обновления существующих классификаций. Стремительно увеличивающиеся объемы насыпных грунтов обуславливают необходимость их количественной оценки и картирования. **В связи с этим целью работы является инженерно-геологическая типизация насыпных грунтов территории г. Москвы, выявление общих закономерностей формирования их состава, строения и свойств, а также разработка эффективной методики картирования массивов техногенных отложений.**

Достижение цели работы сводилось к решению следующих *задач*.

1. На основе анализа опубликованных и фондовых данных составить характеристику инженерно-геологических условий территории г. Москвы и выявить основные источники техногенно переотложенных и техногенно образованных насыпных грунтов, определяющие их состав, строение и свойства.

2. Охарактеризовать общие тенденции изменения состава, строения и свойств природных грунтов при техногенном перемещении.

3. Разработать и обосновать типизацию массивов насыпных грунтов территории г. Москвы; изучить состав, строение и свойства выделенных типов насыпных грунтов, а также строение сложенных ими массивов по данным полевых и лабораторных исследований, фондовым и литературным данным.

4. Разработать и апробировать методику картирования массивов насыпных грунтов с использованием архивных данных буровых работ и топографических планов разных лет.

**Объектами исследования** являются техногенные крупнообломочные, песчаные и глинистые насыпные грунты г. Москвы различного генезиса, возраста и состава.

**Фактический материал** получен в ходе лабораторных исследований образцов насыпных грунтов, отобранных автором с площадок инженерно-геологических изысканий в 2017-2022 гг. Также в работе использованы материалы инженерно-геологических изысканий, предоставленные компаниями АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ», ООО «Инженерная Геология», ГК «Петромоделинг», ООО «НПЦ Основа», ООО «ГеоЭкоАльянс» и др.

### **Научная новизна результатов исследований**

1. На основе представительного объема данных инженерно-геологических изысканий и проведенных автором полевых и лабораторных исследований определены характерные мощности и длительность существования массивов насыпных грунтов, а также диапазоны показателей инженерно-геологических свойств грунтов каждого из выделенных типов.

2. Выявлены закономерности изменения состава, строения и свойств грунтов различного генезиса и литологического состава (песчаных, глинистых и скальных) при техногенном перемещении.

3. Разработана типизация насыпных техногенных грунтов территории г. Москвы, учитывающая их генетические и инженерно-геологические особенности.

4. Описан новый тип «Грунты полигонов приема строительных отходов». Впервые выделены группа «Грунты смешанного генезиса» и два типа в её составе: «Грунты строительных насыпей с примесью зол и золошлаков» и «Грунты отвалов строительных, бытовых и промышленных отходов».

5. Разработана и апробирована методика комплексного ретроспективного анализа территорий с целью определения мощностей и конфигурации массивов насыпных грунтов с использованием архивных скважин и топографических планов. Разработаны методические рекомендации для проведения инженерных изысканий на освоенных территориях.

### **Теоретическая и практическая значимость**

1. Выявлены закономерности изменения состава, строения и свойств грунтов при техногенном перемещении, которые могут быть использованы при прогнозировании поведения и свойств грунтов в насыпных массивах.

2. Выполненная инженерно-геологическая характеристика насыпных техногенных грунтов может быть использована на предварительных стадиях проектирования объектов на территориях, занятых массивами насыпных грунтов, в пределах г. Москвы и для совершенствования нормативно-методической базы инженерно-геологических изысканий на урбанизированных территориях.

3. По разработанной методике комплексного ретроспективного анализа территории построена карта техногенных отложений участка в районе Черёмушки, что позволяет внести уточнения в Карту техногенных отложений Геологического атласа Москвы.

4. Предложены рекомендации по комплексу исследований на территориях распространения техногенных (насыпных) грунтов, включающему применение комплексного ретроспективного анализа использования исследуемой территории, а также построение карты распространения и мощности техногенной толщи с помощью цифровой модели восстановленного рельефа.

**Основные методы исследований.** В диссертационном исследовании использован стандартный комплекс методов изучения состава, строения и свойств грунтов с привлечением оборудования, приобретенного за счет средств Программы развития МГУ имени М.В. Ломоносова. Минеральный состав грунтов был изучен рентгенодифракционным фазовым анализом с помощью рентгеновского дифрактометра Ultima-IV фирмы Rigaku (Япония). Оценка микростроения грунтов выполнена с помощью рентгеновского компьютерного микротомографа Yamato TDM-1000H-II и растрового электронного микроскопа LEO 1450VP. Изучение особенностей строения песчаных фракций проводилось с помощью оптического микроскопа (Levenhuk DTX 500 LCD). Анализ прочностных и деформационных свойств грунтов проведен с помощью автоматизированного комплекса АСИС «Геотек» и одометра ЦНИИ МПС. Для построения трехмерной геологической модели и карты-схемы характера изменения рельефа применено современное программное обеспечение (QGIS, AutoCad, ArcMap, Google Earth Pro, Easy Trace). Обработка фактического материала произведена с помощью компьютерных программ Microsoft Excel, Statistica.

#### **Защищаемые положения**

1. Характер изменения состава, строения и свойств насыпных грунтов при техногенном перемещении определяется как генетико-морфологическими особенностями грунтов в естественном залегании, так и технологией и давностью отсыпки. В наибольшей степени изменениям подвергаются грунты дочетвертичного возраста, обладающие прочными структурными связями: скальные грунты переходят в класс дисперсных с коренным изменением свойств. В песчаных грунтах происходит уменьшение дисперсности за счет вымывания тонких фракций; свойства переотложенных песков широко варьируют в зависимости от степени плотности в насыпном массиве и мало меняются во времени; глинистые грунты четвертичного возраста в насыпях меняют состав и свойства под влиянием условий и истории формирования массива, физико-химических факторов окружающей среды и времени.

2. Типизация насыпных техногенных грунтов территории города Москвы должна быть построена на следующих классификационных признаках (ступенях): генетических – направление хозяйственной деятельности (*группы*), способ образования (*подгруппы*), результат хозяйственной деятельности (*типы* – основная таксономическая единица); инженерно-геологических –

литологический состав (*виды*) и особенности химического состава, физических, физико-химических и физико-механических свойств грунтов (*разновидности*).

3. Построение цифровой модели восстановленного рельефа местности должно выполняться с применением комплексного ретроспективного анализа, включающего: 1) сравнение древнего и современного рельефов; 2) учет архивных материалов по инженерно-геологическим выработкам; 3) обязательную верификацию модели, что позволяет повысить точность построения карт мощностей техногенных отложений на предварительных стадиях инженерно-геологических изысканий.

### **Апробация работы**

Основные результаты диссертационной работы докладывались на заседании секции инженерной геологии Московского общества испытателей природы (Москва, 2024). Отдельные разделы работы были представлены автором на научных конференциях: Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (МГУ, Москва, 2019, 2020, 2022 гг.); IV Общероссийская научно-практическая конференция «Инженерные изыскания в строительстве» (ИГИИС, Москва, 2022); Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экологии и природопользования» (РУДН, Москва, 2019, 2020, 2022 гг.); Ломоносовские чтения, секция «Геология» (МГУ, Москва, 2021 г.); Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы современного грунтоведения (ИГЭ РАН, Санкт-Петербург, 2022 г.); Геоинфо & Ехро 2023. Конференция «Инженерные изыскания. Геотехническое проектирование. Инженерная защита территории» (Москва, 2023 г.).

### **Публикации автора по теме диссертации**

Результаты проведенных исследований, основные положения и вопросы, рассматриваемые в диссертации, изложены в 4 статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.6.7: «Инженерные изыскания» (2021, №1-2), «Инженерная геология» (2022, №2; 2023, №1) и «Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология» (2023, №6); а также в 5 статьях в сборниках «Актуальные проблемы экологии и природопользования» (2019, 2020, 2022), «Ломоносовские чтения» (2021), «Инженерные изыскания в строительстве» (2022).

**Личный вклад автора** заключается в сборе, обработке и научном анализе фактического литературного и фондового материала; в личном обследовании массивов насыпных грунтов в обнажениях и скважинах, сопровождающемся отбором монолитов и проб; в полевых и лабораторных исследованиях состава, строения и свойств насыпных грунтов, слагающих массивы; в составлении типизации насыпных грунтов территории г. Москвы; в разработке методики комплексного ретроспективного анализа территорий совместно с Р.Ю. Жидковым и В.С. Рекуном.

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 168 страницах и состоит из введения, 6 глав, выводов, списка литературы из 167 источников, из них 6 – фондовых, и 3 приложений. Текст содержит 60 графических иллюстраций и 20 таблиц.

### **Благодарности**

В первую очередь автор хочет выразить благодарность научному руководителю профессору д.г.-м.н. **Е.Н. Самарину** за ценные советы, моральную поддержку и доценту к.г.-м.н. **С.К. Николаевой** за неоценимый вклад в разработку диссертационного исследования и становление автора в специальности.

Автор благодарен сотрудникам кафедры инженерной и экологической геологии, оказавшим всестороннюю поддержку при подготовке диссертационного исследования: заведующему кафедрой, профессору д.г.-м.н. В.Т. Трофимову, профессору д.г.-м.н. Е.А. Вознесенскому, профессору д.г.-м.н. В.А. Королеву за внимательное прочтение работы и конструктивную критику, О.И. Голубцовой, М.В. Фламиной, к.г.-м.н. И.А. Родькиной, к.г.-м.н. М.С. Чернову, д.г.-м.н. Ю.В. Фроловой, к.г.-м.н. В.М. Ладыгину, к.г.-м.н. В.Н. Широкову, В.С. Чочиаву, к.г.-м.н. В.В. Крупской, М.С. Никитину, И.В. Манухину, Н.П. Камышановой и Е.А. Савинковой за помощь в проведении лабораторных исследований грунтов, а также доценту кафедры геоэкологии экологического факультета РУДН Е.Н. Огородниковой за помощь и консультации при подготовке работы. Научному руководителю АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ» к.г.-м.н., д.ф.-м.н. ВМАК, академику РАЕН О.Р. Озмидову, генеральному директору ООО «Инженерная Геология» к.г.-м.н. И.В. Аверину, генеральному директору ГК «Петромоделинг» А.В. Бершову, генеральному директору ООО «НПЦ Основа» В.Н. Кляузову, генеральному директору ООО «ГеоЭкоАльянс» А.С. Морозову за оказанное содействие в сборе фактологического материала. Особую благодарность автор хочет выразить к.г.-м.н. главному инженеру по геологии отдела картографирования и ведения Единой государственной картографической основы Москвы ГБУ «Мосгоргеотрест» Р.Ю. Жидкову и инженеру В.С. Рекуну за вдохновение, помощь и моральную поддержку при подготовке диссертационной работы, а также ведущему специалисту ООО «ИГИИС» Н.А. Журавлёвой за помощь в подготовке публикаций.

## Глава 1. Современные представления о насыпных техногенных грунтах городских территорий<sup>1</sup>

В настоящее время в соответствии с ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация» техногенными грунтами называют «грунты, измененные, перемещенные или образованные в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека» [35, с. 3]. Здесь стоит уточнить, что в дальнейшем автор будет придерживаться следующей терминологии в соответствии с разработками Е.Н. Огородниковой и С.К. Николаевой.

**«Техногенно измененные** – это измененные в условиях естественного залегания природные грунты, для которых средние значения показателей состава и физических свойств изменены не менее, чем на 15%, а физико-механических свойств – не менее, чем на 30%» [97, с. 6].

**«Техногенно переотложенные** – природные грунты, перемещенные с мест их естественного залегания, подвергнутые частично производственной переработке в процессе их перемещения» [97, с. 5].

**«Техногенно образованные** – это твердые отходы производственной и хозяйственной деятельности человека, в результате которой произошло коренное изменение состава, структуры и текстуры природного материала или органического сырья» [97, с. 5].

**«Насыпные грунты** – техногенные грунты, перемещение и укладка которых произведена с помощью транспортных средств, взрыва» [97, с. 6].

На городских территориях по классификации техногенных грунтов [18] насыпные грунты могут быть как техногенно образованными, так и техногенно переотложенными. Среди техногенно переотложенных разностей встречаются строительные отвалы (рис. 1.1, а), насыпи, плотины, отсыпанные территории и локальные сооружения (рис. 1.1, б), вскрышные породы (рис. 1.1, в), отходы горно-обогатительных предприятий (рис. 1.1, г); среди техногенно образованных – твердые коммунальные и бытовые отходы и строительные материалы, грунты культурного слоя. Даже техногенно образованные разности часто становятся основаниями

---

<sup>1</sup> При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

1. **Абакумова, Н. В.** Классификации техногенных отложений в инженерной геологии: исторический обзор, современный взгляд на проблему / **Н. В. Абакумова**, С. К. Николаева, Е. Н. Самарин // Инженерные изыскания. – 2021. – Т. 15. – № 1-2. – С. 28-40. Импакт-фактор РИНЦ 2022: 0,256. Объем публикации: 1,1 п.л., объем вклада соискателя: 0,9 п.л.

2. **Абакумова, Н. В.** Типизация насыпных грунтов Московской агломерации / **Н. В. Абакумова** // Инженерная геология. – 2022. – Т. 17. – № 2. – С. 6-26. Импакт-фактор РИНЦ 2022: 0,256. Объем публикации: 1,7 п.л., объем вклада соискателя: 1,7 п.л.

3. Жидков, Р. Ю. Применение комплексного ретроспективного анализа при определении конфигурации массивов техногенных грунтов на примере г. Москвы / Р. Ю. Жидков, **Н. В. Абакумова**, В. С. Рекун // Инженерная геология. – 2023. – Т. 18. – № 1. – С. 18-34. Импакт-фактор РИНЦ 2022: 0,256. Объем публикации: 1,4 п.л., объем вклада соискателя: 0,6 п.л.

зданий и сооружений. Например, здание речного вокзала в г. Казань располагается на толще намывных и насыпных грунтов (отходах строительства) мощностью от 5,9 до 7,8 м [72].



Рисунок 1.1. Примеры насыпных грунтов городских территорий: а – г. Москва; б – г. Н. Новгород; в – д. Рускеала, респ. Карелия; г – г. Пласт, Челябинская обл. (фото автора)

### 1.1. Источники формирования насыпных техногенных грунтов на территориях города

Основным источником насыпных техногенных грунтов служит инженерно-строительная деятельность человека, в ходе которой возникают и измененные на месте залегания грунты, и переотложенные, и грунты, образованные при создании свалок, искусственных оснований фундаментов и т.д. Города расширяются, увеличивается плотность застройки, изменяется характер воздействия нагрузок на грунт, разворачивается промышленное строительство, расширяются существующие и возводятся новые дороги, происходит освоение подземного пространства, что неизбежно приводит к накоплению геологического материала [97].

«Процесс образования антропогенных отложений или геологическая породообразующая деятельность человека – антропогенный литогенез (антрополитогенез)» [134, с. 250]. Именно этот тип процессов, развитых на территориях городов, единственный тип, который не имеет природных аналогов: при отсутствии человека не происходило бы накопления техногенных отложений [66].

«Техногенные грунты – это молодые геологические образования, возраст которых достигает сотен лет, имеют малую степень постгенетических преобразований» [89]. Однако, исключением являются грунты культурного слоя, которые формируются столько, сколько на Земле живет человек.

В археологии культурный слой определяется как «исторически сложившаяся система напластований, состоящая в основном из органических и строительных остатков, образовавшихся в результате деятельности человека» [12, с. 25]. В инженерной геологии культурным слоем является слой грунта на местах человеческих поселений, содержащий следы или остатки деятельности человека, т.е. содержащий артефакты. Д.Ю. Здобин выделял шесть признаков культурного слоя [55, с. 50]:

- «наличие археологических артефактов;
- локальность (изолированность толщи как по глубине, так и по площади);
- повышенное содержание фосфора и органического углерода;
- геохимические и геомеханические барьеры;
- выдержанные по всему горизонту значения рН и Eh;
- особый влажностно-плотностной режим».

Уже с начала своего появления человек оставлял в природных грунтах орудия охоты или иной деятельности. Находки примитивных орудий австралопитеков, а также первые свалки отходов позволяют провести нижнюю границу грунтов культурного слоя, которая датируется приблизительно 5 млн. лет. На протяжении долгого периода человеческие поселения представляли собой временные стоянки, стойбища, пещеры [131] и имели локальное распространение, поэтому и грунты культурного слоя развиты очагами. Каждый последующий слой содержит в себе всё более сложные каменные и много позже (3-4 тыс. лет назад) металлические орудия труда, украшения, религиозную атрибутику, мегалиты, а также первые деревянные сооружения, предназначенные для жилья, хранения продовольственных запасов и т.д. [131].

На протяжении веков деревянные постройки заменялись каменными, стали использоваться железобетонные конструкции, стекло. Некоторые неразрушенные здания засыпались грунтом, и на их месте возводились современные сооружения (рис. 1.2).



Рисунок 1.2. Остатки фундамента храма Чуда Михаила Архангела в подвальных помещениях 14 корпуса Московского Кремля (фото В.П. Капитана)

Как правило, человеческие поселения возникают вблизи водоемов, рек, источников, где рельеф расчленен оврагами, балками, промоинами, ручьями. Для равномерной застройки территории отрицательные формы рельефа приходится засыпать грунтом, причем таким, который бы удовлетворял требованиям к основаниям. Сооружение сети каналов, наоборот, приводит к образованиям материала, который может использоваться в строительных целях, в том числе, и для засыпки неровностей перед строительством.

В результате хозяйственной деятельности человека при складировании бытовых и строительных отходов ежегодно в мире образуется более 0,5 млрд. м<sup>3</sup> материала [97]. На территории г. Москвы расположены 4 полигона ТКО и 6 официально зарегистрированных полигона приема строительных отходов. Как правило, насыпные грунты в таких массивах относятся к техногенно образованным разностям, но при небольшом содержании антропогенных включений и низкой степени преобразования исходных грунтов – техногенно переотложенными [26].

Строительство линейных сооружений (железных и автодорог, магистральных трубопроводов, трасс метрополитена, тоннелей, ЛВП и линий связи) предполагает следующие особенности: протяженность в сотни и тысячи километров относительно небольшой ширины, необходимость возведения дамб, подсыпок, «грунтовых подушек» и т.д. В результате возникают

массивы, где насыпные грунты представляют собой техногенно переотложенные разности [97]. На 2013 г. протяженность автодорог Российской Федерации составляла 1 396 000 км, а железных дорог на 2014 г. – 85,3 тыс. км [164]. По данным [128] при строительстве 1 км железных и 1 км автомобильных дорог осуществляется от 10 до 50 тыс. км<sup>3</sup> и 10-17 тыс. км<sup>3</sup> земляных работ соответственно в зависимости от рельефа местности и назначения железной и автодороги.

Выработка электроэнергии также не обходится без перемещения больших объемов грунтов: только на 1 кВт мощности гидроэлектростанции приходится 100 м<sup>3</sup> земляных работ. В состав комплексов гидротехнических сооружений входят гидроузлы разного назначения (плотины разных типов, наземные и подземные здания ГЭС, шлюзы и судоподъемники, деривационные каналы, трубопроводы и тоннели), электростанции, водохранилища, каналы, портовые и берегоукрепительные сооружения [97].

Добыча полезных ископаемых обычно ведется в крупных масштабах, для обслуживания горнодобывающего производства необходима рабочая сила, поэтому такие города как Железногорск (Курская обл.), Пласт (Челябинская обл.), Норильск (Красноярский край) и многие другие возникли на месте крупных месторождений полезных ископаемых. На первых этапах разработки месторождений города занимали небольшие площади. Отвалы вскрышных пород и отходы обогащения руд вывозятся за пределы городских территорий, но города растут, и массивы техногенных грунтов оказываются внутри городов.

Таким образом, на территориях городов встречаются насыпные техногенные грунты разного происхождения: техногенно перемещенные и техногенно образованные, которые отличаются друг от друга составом, строением и свойствами, интенсивностью влияния на окружающую среду.

## **1.2. История изучения и классификации техногенных грунтов**

Первый исследователь, обративший внимание на техногенные отложения с точки зрения инженерной геологии, Ф.В. Котлов, назвал их антропогенными грунтами [66]. Однако, в процессе изучения техногенных образований различными исследователями [10, 18, 27, 55, 56, 58, 63, 128] предлагались разные определения техногенного грунта. В соответствии с действующим ныне ГОСТ 25100-2020 можно дать следующее определение: «техногенный грунт – грунт, измененный, перемещенный или образованный в результате инженерно-хозяйственной деятельности человека» [35, с. 3].

Понятие «антропогенный грунт» не исчезло, и сейчас по ГОСТ 25100-2020 это «грунт, созданный человеком, образованный в результате естественно-исторического освоения территорий (культурный слой), твердые бытовые и промышленные отходы, искусственные материалы, являющиеся (ставшие) компонентами геологической среды» [35, с. 2]. Другими

словами, антропогенные грунты – это подвергшиеся коренному вещественному преобразованию человеком природные материалы.

Исследование техногенных грунтов исторически началось с изучения археологами культурного слоя с целью исследования материальной культуры, исторического прошлого городов, бытового уклада человека. С увеличением плотности застройки и высотности строений, необходимости реконструкции действующих зданий и сооружений грунты культурного слоя заинтересовали исследователей и с инженерно-геологической точки зрения [63], т.к. их низкие показатели физико-механических свойств, высокая доля органических включений и строительного мусора в грунтовой толще и другие негативные факторы осложняли строительство [97].

Дальнейшие довоенные работы по изучению грунтов культурного слоя были направлены на детализацию уже имеющихся геологических карт четвертичных отложений и карт культурного слоя, изучались физико-механические свойства. В основном работы проводились на территории г. Москвы и в пределах Окружной ж.д. такими учеными как Ф.П. Саваренский, Б.М. Даньшин, С.С. Дмитрик, Ф.П. Ломовский и др.

К XIX-XX вв. уже бóльшие площади городов стали покрыты техногенными грунтами: засыпаны промышленными и бытовыми отходами овраги и балки, в более удачных для строителей случаях – грунтами из строительных котлованов и тоннелей метрополитена. Появилась необходимость осваивать ранее пустующие прилегающие к зданиям и сооружениям территории.

В 1932 г. впервые во Всесоюзном научно-исследовательском институте фундаментов и оснований (ВНИОС) группой специалистов под руководством Н.Н. Луцкихина была составлена карта мощностей культурного слоя г. Москвы в масштабе 1:10 000. Этим же составом авторов в 1933-1934 гг. подготовлена публикация «Насыпные грунты г. Москвы и их роль в городском строительстве», упоминающаяся в [66]. В работе показано распределение культурного слоя на территории г. Москвы с характеристикой мощности и условий залегания, впервые рассмотрены вопросы генезиса и районирования культурного слоя.

Первый опыт строительства капитальных сооружений на насыпных грунтах не увенчался успехом: некоторые здания получили сильные деформации или совсем разрушились. В результате в строительном сообществе составилось мнение о непригодности техногенных грунтов в качестве оснований сооружений. Использование свайных фундаментов или полное извлечение насыпного грунта увеличивали сроки производства работ и стоимость проектов, а исследования в области техногенных отложений задерживались по объективным причинам отсутствия квалифицированных специалистов [10].

Поэтому, начиная уже с 40-50-х годов XIX в., встречаются указания по применению так называемых «конструктивных мероприятий» для увеличения прочности стен. Например, применялась укладка под подошвой бутовых или кирпичных фундаментов лежней (рис. 1.3), состоящих из продольных бревен диаметров 18-26 см и уложенных в один-два ряда с жесткими стыками на каком-то расстоянии друг от друга [10].

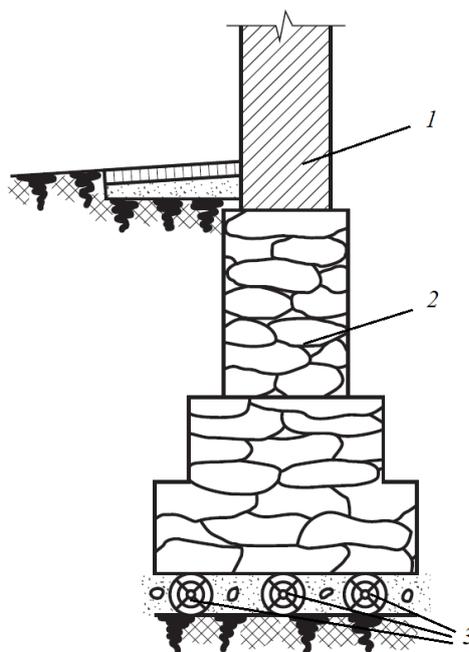


Рисунок 1.3. Поперечное сечение фундамента с продольными лежнями по [10]:  
1 – кирпичная стена; 2 – бутовый фундамент; 3 – лежни

Известны работы Н.А. Спиридонова, опубликованные в журнале «Инженерные записки» 1891 г., описывающие сооружение зданий на искусственном основании из песка. В настоящее время такие основания называют «песчаными подушками», они применяются для распределения нагрузки от сооружения на как можно большую площадь [10].

Дефицит свободных территорий для застройки и необходимость уменьшения стоимости строительных работ привели к тому, что к середине XX в. был успешно построен ряд зданий на насыпных грунтах (например, производственные цеха в городах Жданов и Днепродзержинск) [11]. Стало ясно, что при достаточно детальном изучении физико-механических характеристик грунтов и строения массива, использовании надежных конструкций и песчаной подсыпки, можно обеспечить равномерную и удовлетворительную осадку оснований.

К определенному моменту в истории изучения техногенных грунтов, когда был накоплен уже богатый практический материал, возникла необходимость в создании классификации, собравшей бы воедино все знания о них. Попытка систематизировать накопленные знания была предпринята практически каждым специалистом, который занимался техногенными грунтами,

но составить такую классификацию, которая отражала бы все характеристики грунта (генезис материала, способ укладки, состав, свойства и т.д.), пока не удалось.

Первая классификация, созданная Ф.В. Котловым, базируется на выделении историко-генетических признаков, обходя вниманием способы укладки материала, мощность и литологический состав отложений, что не дает возможности составить представление об их инженерно-геологических особенностях. Ф.В. Котлов разделил территорию г. Москвы, существовавшую на 1947 г., на две основные зоны: а) зона древнего поселения с широко развитым культурным слоем; б) зона современной застройки со слабо развитым культурным слоем. В каждой из этих зон им выделены серии историко-генетических участков, например, районы старой застройки, плотин и дамб, заброшенных кладбищ, искусственных насыпей, колодцев, засыпанных прудов и т.п. [66]

Классификация, опубликованная О.А. Савиновым в 1949 г. (табл. 1.1), отражает вид грунта (несвязный, связный, вновь устраиваемых насыпных оснований), вещественный состав, минимальный возраст, при котором они могут быть использованы в качестве основания, а также некоторые характеристики – допустимое давление  $P$  и коэффициент упругого равномерного сжатия  $C_z$  [107]. Именно такой тип классификации дал бы наиболее ясное представление о прочностных и деформационных свойствах насыпных грунтов, но для ее использования необходима замена устаревших показателей на современные: угол внутреннего трения  $\varphi$ , °; сцепление  $C$ , МПа; модуль деформации  $E$ , МПа. Помимо этого, данная классификация не соответствует описанным выше принципам логики: явное противоречие в видах грунтов – «грунты вновь устраиваемых насыпных оснований» могут быть как связными, так и несвязными; отсутствует обоснование минимального возраста и показателей  $P$  и  $C_z$ .

Позднее, в 1952 г., Е.М. Сергеевым была предложена классификация искусственных грунтов, в которой они подразделялись на насыпные, культурные слои и улучшенные [92]. Насыпные грунты подразделялись на строительные и промышленные, улучшенные – на искусственно измененные, термически-обработанные и искусственно цементированные, а культурные слои – на древние и современные. В этой классификации есть недостатки, связанные с логикой построения: деление на одном уровне происходит по различным признакам, при этом члены деления не исключают друг друга. Например, среди искусственно измененных имеются доведенные до оптимальной смеси, однако, именно такие грунты и используются в дорожных и железнодорожных насыпях, которые в классификации Е.М. Сергеева относятся к насыпным строительным грунтам. Преимуществом данной классификации является выделение улучшенных грунтов, которые ранее обходились стороной. Также прогрессивным является разделение грунтов культурного слоя на древние и современные, т.к. они значительно отличаются друг от друга по составу и свойствам [102].

Классификация насыпных грунтов О.А. Савинова по [107]

Виды грунтов	Наименование	Минимальный возраст в годах	$P$ , МПа	$C_z$ , МПа
Несвязные грунты	Гравий, щебень (кирпичный и твердых пород), галька	Независимо от возраста	10,0	25,0
	Песок крупный и среднезернистый	То же	10,0	25,0
	Песок мелкозернистый	2	7,5	25,0
	Песок тонкозернистый маловлажный	5	5,0	15,0
	То же, насыщенный водой	2	5,0	15,0
	Шлак	Независимо от возраста	7,5	25,0
	Строительный мусор без органических включений	То же	5,0	25,0
	То же, с отдельными включениями кусков дерева	“	4,0	15,0
Связные грунты	Супеси твердые	2	7,5	20,0
	пластичные	5	5,0	20,0
	Суглинки твердые	5	7,5	20,0
	пластичные	10	5,0	20,0
	Глины твердые	10	7,5	20,0
	пластичные	20	5,0	20,0
Грунты вновь устраиваемых насыпных оснований	Щебень, гравий, галька	Независимо от возраста	10,0	30,0
	Песок крупно- и среднезернистый	То же	10,0	25,0
	Песок мелкозернистый	“	7,5	25,0
	Супесь	“	5,0	15,0
	Шлак	“	7,5	25,0

В более позднем издании Грунтоведения в классификации искусственных грунтов было также выделено три более широкие подгруппы: 1) культурные слои; 2) насыпные и наносные; 3) искусственно улучшенные и искусственно ухудшенные [44]. В третьем и четвертом изданиях учебника искусственно улучшенные грунты обособляются в отдельную подгруппу, а остальные переводятся в типы [45, 46]. В пятом издании искусственные грунты объединяются с природными, а разделение грунтов на классы происходит по типам структурных связей на скальные и дисперсные, которые включают в себя как природные, так и искусственные грунты [43]. И только в крайней редакции все грунты делятся на царство природных и техногенных, где для последних приводится собственная детальная классификация, вошедшая в слегка измененном виде в нормативные документы [42].

Ю.М. Абелевым и В.И. Крутовым в 1962 г. была предложена совершенно новая классификация насыпных грунтов как оснований сооружений (рис. 1.4), в которой насыпные грунты делились по однородности состава и сложения на:

- 1) планомерно возведенные насыпи – созданные специально в строительных целях;
- 2) отвалы грунтов и отходов производств – могут использоваться как основания после проведения специальных мероприятий;
- 3) свалки грунтов, отходов производств и бытовых отбросов – не могут использоваться в качестве оснований.

Каждая из групп делилась последовательно по способу отсыпки, далее первые две группы делились по составу, третья группа сначала по расположению органического вещества (рассеянное и гнездовое или линзовидное), а потом по его содержанию. На последнем уровне все грунты делились на слежавшиеся и неслежавшиеся по давности отсыпки [10]. Однако, наличие в классификации намывных грунтов не удовлетворяет современным представлениям о насыпных грунтах, которые перемещаются с помощью различных видов транспорта либо вручную человеком. Несмотря на некоторые логические неточности, классификация Ю.М. Абелева и В.И. Крутова оказалась наиболее полной и в каком-то смысле «прорывной» для своего времени: впервые насыпные грунты разделялись по способу отсыпки, так сильно влияющим на строение и свойства массивов.

Также Ю.М. Абелевым и В.И. Крутовым была предложена методика полевого и лабораторного исследования насыпных грунтов, описаны основные особенности работы с ними, предложены методы подготовки оснований, сложенных насыпными грунтами, способы расчета оснований и описаны некоторые конструктивные мероприятия [10]. Учеными был обобщен опыт строительства на насыпных грунтах в примерах [11].

Большой вклад в историю изучения техногенных грунтов был сделан М.И. Хазановым. В своей классификации 1975 г. (табл. 1.2) он впервые стал разделять искусственные грунты не

только по составу и способу накопления, но еще и по генезису, выделив четыре основных источника накопления техногенных грунтов: горнотехническая деятельность человека, инженерно-строительная и сельскохозяйственная, а также военная деятельность, – которые легли в основу современных представлений о техногенных грунтах. Стоит отметить, что среди выделенных источников отсутствует хозяйственная деятельность человека, которая на современном этапе играет значительную роль в образовании техногенных грунтов [128].

Помимо генетической типизации М.И. Хазановым была составлена классификация искусственных грунтов по составу и инженерно-геологическим характеристикам (табл. 1.3), в которой отражались гранулометрический состав, вид заполнителя для крупнообломочных грунтов, консистенция или влажность, однородность и др. [128]. Однако, эта классификация не распространялась на золы, шлаки, «хвосты» и другие производственные и бытовые отходы. Более того, общепринятых классификаций для вышеуказанных грунтов нет до сих пор.

М.И. Хазанов, проанализировав все имеющиеся данные по объемам накопления техногенных грунтов за период с 1923 по 1972 гг., смог дать приблизительный расчет геологических результатов горнотехнической, инженерно-строительной, сельскохозяйственной и военной деятельности человека и дать прогноз дальнейшему накоплению этих новейших образований на Земной поверхности. Исследователем был произведен подсчет объема искусственных грунтов, образовавшихся в результате добычи рудных полезных ископаемых и выплавки из них металлов и приняты коэффициенты перехода от количества добытой руды к количеству отходов, пустой породы и выплавленного металла (табл. 1.4). Подобные расчеты были произведены и для нерудных ископаемых, и для ископаемого топлива [128].

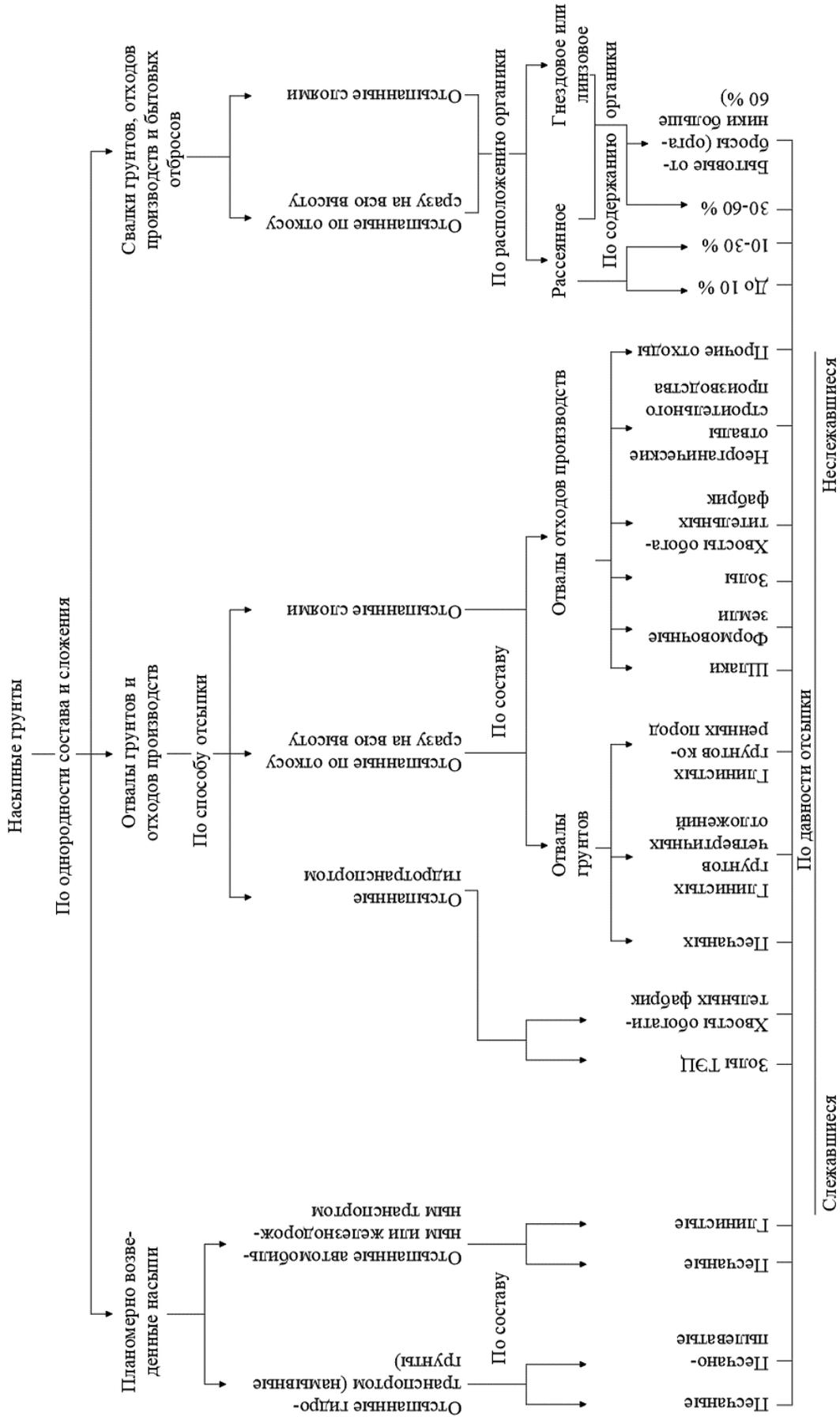


Рисунок 1.4. Классификация насыщенных грунтов Ю.М. Абелева и В.И. Крутова [10]

Типизация искусственных грунтов по условия формирования по [128]

Подгруппа	Тип	Подтип
Способ образования	Технология образования	Источник накопления
Намытые teg-hydQ <sub>IV</sub>	Организованный намыв; teg-hyd'Q <sub>IV</sub>	Горнотехническая деятельность (г.-т.), инженерная деятельность (инж.), сельскохозяйственная деятельность (с.-х.), военная деятельность (в.), бытовая деятельность (б.)
	Неорганизованный намыв; teg-hyd''Q <sub>IV</sub>	
Отсыпанные teg-cumQ <sub>IV</sub>	Планомерная отсыпка (послойная или на всю мощность); teg-cum'Q <sub>IV</sub>	
	Непланомерная отсыпка (послойная или на всю мощность); teg-cum''Q <sub>IV</sub>	
Измененные на месте teg-varQ <sub>IV</sub>	Разрыхленные, увлажненные; teg-var'Q <sub>IV</sub>	
	Уплотненные, упрочненные; teg-var''Q <sub>IV</sub>	
Грунты культурного слоя teg-kultQ <sub>IV</sub>	Непланомерно образованные teg-kult''Q <sub>IV</sub>	

Также М.И. Хазанов, занимаясь особенностями распространения и картирования техногенных грунтов, заметил, что распространение техногенных грунтов не подвергается никакой геологической закономерности: искусственные грунты «мгновенно и хаотически (в геологическом понимании этих слов) возникают в самых различных геологических провинциях в зависимости от быстро сменяющихся устремлений и хозяйственной активности человека» [128, с. 51]. Поэтому в отличие от грунтов природного происхождения искусственные грунты не могут быть картированы теми же методами. М.И. Хазанову удалось составить карты по накопленным объемам (распространению) техногенных грунтов и по интенсивности их образования, базируясь на статистических данных по каждой из многочисленных отраслей хозяйства в пределах всех союзных республик и областей СССР.

После долгих лет изучения антропогенных геологических процессов Ф.В. Котлов вводит термин антропогенный литогенез, означающий «геологический процесс образования наиболее молодых в геологической истории Земли отложений, связанных с хозяйственной деятельностью человека; процесс нового породообразования и переработки человеком пород земной коры» [69, с. 13]. В 1977 г. публикует новую, наиболее полную и научно обоснованную инженерно-геологическую классификацию антропогенных отложений на генетической основе.

Таблица 1.3

Классификация искусственных грунтов по составу и инженерно-геологическим свойствам М.И. Хазанова по [128]

		Разновидность порядков			
Вид	Подвид	I	II	III	IV
Состав грунта	Крупность материала				
Крупнообломочный	Валунный, глыбовый, галечниковый, щебнистый, гравийный, дресвяный	По виду заполнителя (песчаный, глинистый, песчано-глинистый)	По плотности сложения (плотный, средней плотности, рыхлый)	По содержанию (в %) заполнителя (малое, < 10; среднее, 10-35; высокое 35-50)	По влажности (маловлажный, влажный, насыщенный водой)
Преимущественно песчаный	Крупный и средний, мелкий, пылеватый	По плотности сложения (плотный, средней плотности, рыхлый)	По влажности (маловлажный, влажный, насыщенный водой)	По однородности (однородный, $d_{60}/d_{10} < 3$ , неоднородный, 3-7; очень неоднородный > 7)	По динамической устойчивости (устойчивый $P_g > 50$ МПа; обладающий склонностью к разжижению $20 \leq P_g \leq 50$ МПа; разжижаемый $P_g < 20$ МПа)
Преимущественно глинистый	Супеси ( $1 \leq I_p \leq 7$ ), суглинки ( $7 < I_p \leq 17$ ), глины ( $I_p > 17$ )	По консистенции (твердый, пластичный, текучий)	По отношению к замачиванию - набухание, просадки (активный, слабоактивный, инертный)	По плотности сложения (плотный, средней плотности, рыхлый)	По степени засоления (незасоленные, менее 0,25; средnezасоленные 0,3-1,0; сильнозасоленные, более 1)
Смешанный (преимущественно минеральный, менее 10%; преимущественно органический, более 60% органики)	Критерии разделения по крупности материала подлежат разработке	По распределению органического вещества (рассеянное, гнездовое, линзовое)	По плотности сложения (плотный, средней плотности, рыхлый)	По влажности (маловлажный, влажный, насыщенный водой)	По степени разложения органического вещества (малая, средняя, высокая)

Таблица 1.4

Коэффициенты, принятые при подсчете объема искусственных грунтов, образовавшихся при добыче подземным и открытым способами рудных ископаемых и выплавке металлов (руда – минеральное вещество в том составе и с тем содержанием металлов, в каком оно находится в месторождении, горная масса – вся получаемая в процессе разработки месторождения масса руды и пустой породы в смешанном виде) по [128]

Металл	Руда и горная масса (на 1 т выплавленного металла)	Пустая порода (на 1 т руды)	Шлак (на 1 т выплавленного металла)
Железо	1,9	1,2 (8,1 <sup>*</sup> )	0,9
Медь	95,0	4,2	30,0
Свинец	70,0	3,5	0,75
Цинк	60,0	3,5	0,75
Олово	2218,0	0,24 (8,65 <sup>*</sup> )	0,80
Никель	200,0	5,4	0,90
Алюминий	5,85	10,2	1,0
Ртуть	400,0	25,0	-
Вольфрам	25700,0 <sup>**</sup>	-	-
Кобальт	37,0	-	-
Золото	23200000,0 <sup>**</sup>	-	-
Серебро самородное	1300,0 <sup>**</sup>	-	-
Платина	56125000,0 <sup>**</sup>	-	-
Руда марганцевая	-	2,5 (2,5 <sup>*</sup> )	-
Хромитовая	-	6,2	-
Сурьмяная	-	5,4	-

\* Открытый способ

\*\* Горная масса

В этой классификации Ф.В. Котлов выделяет четыре таксона: *группы* грунтов по условиям образования (субаэральные, субаквальные и субтерральные), *генетические комплексы* по способам образования (насыпные, намывные, отложения искусственных водоемов, искусственные подводные грунты, измененные водные осадки естественных водоемов, искусственно преобразованные в естественном залегании грунты, привнесенные в грунты материалы и конструкции и стихийное накопление культурного слоя). В составе комплексов выделены 19 *классов*, некоторые из них делятся на *виды* по более детальным генетическим критериям.

Помимо генетических критериев в классификации приводится балльная оценка каждого вида грунтов по степени однородности и пространственной выдержанности вещественного состава: относительно однородные (3 балла), средней однородности (2 балла) и весьма неоднородные (1 балл). Отдельно приводится качественная характеристика грунтов, как оснований сооружений, и оценка прочности и несущей способности некоторых типов грунтов также по трехбалльной системе: прочные (3 балла), среднепрочные (2 балла) и непрочные (1 балл) [69].

В инженерно-геологической классификации горных пород Ф.П. Саваренского с дополнениями и изменениями В.Д. Ломтадзе (1984 г.), техногенные образования выделяются в отдельный генетический тип, который обладает рядом характерных признаков и свойств, и подразделяется на два подтипа [82]. *Первый подтип* составляют искусственно улучшенные и преобразованные горные породы с целью повышения их прочностных и деформационных характеристик, монолитности, понижения водопроницаемости и т.д. *Ко второму подтипу* относятся породы планомерно возведенных насыпей; отвалы, состоящие из отходов промышленного и строительного производств, бытовых отходов; намытые площади.

Породы всех типов, в том числе и природные, объединяются в группы по физико-механическим свойствам: 1) твердые – скальные; 2) относительно твердые – полускальные; 3) рыхлые несвязные; 4) мягкие связные и 5) породы особого состава, состояния и свойств. Причем под физико-механическими свойствами подразумеваются физические, водные и механические. Для каждой группы грунтов приведены характерные особенности пород и значения некоторых показателей свойств [82].

В ГОСТ 25100-82 «Грунты. Классификация» [36] искусственные грунты не выделяются в отдельную таксономическую единицу, они присутствуют в каждом классе грунтов: с жесткими структурными связями и грунтах без жестких структурных связей.

В 1990 г. группой исследователей А.П. Афоным, И.В. Дудлером, Р.С. Зиангировым, Ю.М. Лычко, Е.Н. Огородниковой, Д.В. Спиридоновым, Э.Р. Черняком и Д.С. Дроздовым [18]

введен термин «техногенный грунт» и составлена современная классификация техногенных грунтов, предложены дополнения к ГОСТ 25100-82 [36] в области техногенных грунтов. Появилось и закрепилось новое определение: «техногенные грунты – это техногенно-созданные образования или измененные горные породы, сформировавшиеся в результате производственной и хозяйственной деятельности человека» [18, с. 117]. Термин «насыпной грунт» стал таксоном в классификации, а термин «искусственный грунт» далее не употребляется инженер-геологами.

Все более многочисленные и детальные исследования привели к пониманию, что техногенные грунты в значительной степени отличаются от природных, и классифицировать их вместе с природными образованиями не следует. В ГОСТ 25100-95 «Грунты. Классификация» [37] Р.С. Зиангировым и В.Т. Трофимовым техногенные грунты выделяются в отдельный класс, и приводится их классификация, отличающаяся от составленной в 1990 г. [56]. В это же время СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть III. Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов» [116] техногенные образования включаются в перечень специфических грунтов, к изучению которых предъявляются дополнительные технические требования. Однако, классификация, представленная в следующей редакции ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация» [34], снова объединяет природные и техногенные образования.

Наиболее полная, отвечающая современным требованиям, общая классификация техногенных грунтов была составлена Е.А. Вознесенским, и в сокращенном виде вошла в обновленный ГОСТ 25100-2020 [27]. В данной классификации грунты подразделяются по генетическому принципу, а таксоны выбраны в соответствии с общей классификацией грунтов, что позволяет провести аналогию в образовании природных и техногенных отложений, и при этом продемонстрировать разницу в действиях природных и производственно-хозяйственных сил. В формировании свойств природных и техногенных грунтов участвует ряд одинаковых факторов: вид исходного материала, пространственное положение и возраст грунтов. Различаются лишь силы, участвующие в формировании грунтовых толщ. Естественные грунты формируются под воздействием природных сил – воды, ветра, температуры и т.д., в то время как техногенные грунты возникают под действием аналогичных сил, но инициированных человеком и носящих, как правило, целенаправленный характер.

С генетической точки зрения воздействие человека на грунты приводит либо к улучшению их состава и свойств, либо к ухудшению. Данная позиция нашла отражение в работе В.А. Королева и В.Т. Трофимова [125], где приводится подразделение техногенно-измененных и созданных грунтов на ухудшенные и улучшенные грунты, причем техногенно-созданные грунты (свалки и полигоны твердых бытовых и коммунальных отходов, отвалы теплоэлектростанций)

относятся к ухудшенным. Поскольку человек является разумным существом, живым организмом, В.Т. Трофимовым и В.А. Королевым поднимается вопрос о рассмотрении техногенных грунтов, как части биогенных. «Не менее сложен вопрос о генезисе антропогенных (техногенных) грунтов. Поскольку они являются продуктом хозяйственной и иной деятельности человека, а человек является живым разумным существом, то, казалось бы, логично антропогенные грунты рассматривать как отдельный тип биогенных грунтов. Однако, учитывая большое разнообразие способов образования и преобразования техногенных грунтов, они все же рассматриваются отдельно как антропогенные, а не биогенные» [125, с. 12]. Эта цитата может послужить началом для будущих теоретических рассуждений.

На основе упомянутой выше классификации А.П. Афонина с соавторами [18] и разработок Ф.В. Котлова [69] Е.Н. Огородниковой и С.К. Николаевой была составлена классификация насыпных грунтов в пределах городских агломераций с краткой инженерно-геологической характеристикой (табл. 1.5) [96]. Среди насыпных грунтов городских территорий выделяются классы по генезису – техногенно переотложенные (ТП) и техногенно образованные (ТО); по источникам формирования или видам деятельности выделяются группы – инженерно-строительные (ИС), промышленные (П) и хозяйственно-бытовые (ХБ). Подгруппы определяются технологией образования (планомерно уложенные, планомерно отсыпанные, стихийно и планомерно отсыпанные, стихийно отсыпанные), а типы определяют название грунтов. В классификации выделено 11 типов, распространенных на городских территориях, на качественном уровне охарактеризованы их вещественный состав, инженерно-геологические особенности и распространение.

Классификация А.Н. Галкина (рис. 1.5), представленная в учебном пособии к курсу «Техногенные грунты» [28], базируется на общей классификации грунтов [42] и типизации грунтов России по морфологическим признакам [57]. Данный вариант является достаточно удобным для восприятия, но всё же не отражает многообразие техногенных грунтов. Более того, твердые промышленные отходы могут быть как насыпными, так и намывными, но выделяются на одном уровне с типами «природных, перемещенных» грунтов.

Фрагмент классификации насыпных грунтов в пределах городских агломераций  
Е.Н. Огородниковой и С.К. Николаевой по [96]

Тип	Вещественный состав	Инженерно-геологические особенности и распространение
<i>Подгруппа: планомерно уложенные грунты, распространение локальное</i>		
Грунты насыпных территорий, земляных сооружений, песчаных подушек и пр. (ТП, ИС)	Крупнообломочные песчаные, глинистые	Относительно однородные, плотного сложения, прочные, слабосжимаемые. Площадные, линейные, локальные
<i>Подгруппа: планомерно отсыпанные грунты, распространение локальное</i>		
Грунты отвалов из подземных горных выработок и строительных котлованов (ТП, ИС)	Крупнообломочные песчаные, глинистые	Относительно однородные или неоднородные по составу, строению и свойствам; самоуплотняющиеся и упрочняющиеся во времени в процессе слеживания
Грунты полигонов твердых бытовых отходов (ТО, ХБ)	Пестрая свалочная смесь хозяйственно-бытовых отходов, послойно пересыпанных переотложенными грунтами	Неоднородные, с высоким содержанием органических веществ, разлагающиеся, слеживающиеся, с неудовлетворительными свойствами
<i>Подгруппа стихийно и планомерно отсыпанные, распространение локальное</i>		
Отходы промышленных производств (ТО, П)	Шлаки, золы, хвосты, формовочные земли, металлические древесные, химические, текстильные и др. отходы	Неоднородные и относительно однородные. Свойства зависят от содержания компонентов, не стойких в зоне аэрации
<i>Подгруппа: стихийно отсыпанные, распространение площадное</i>		
Грунты культурного слоя (ТО, ХБ, ИС)	Беспорядочное переслаивание переотложенных грунтов с включениями хозяйственно-бытовых и строительных отходов	Неоднородные, в основном слежавшиеся, с повышенным содержанием органических веществ, неудовлетворительными свойствами

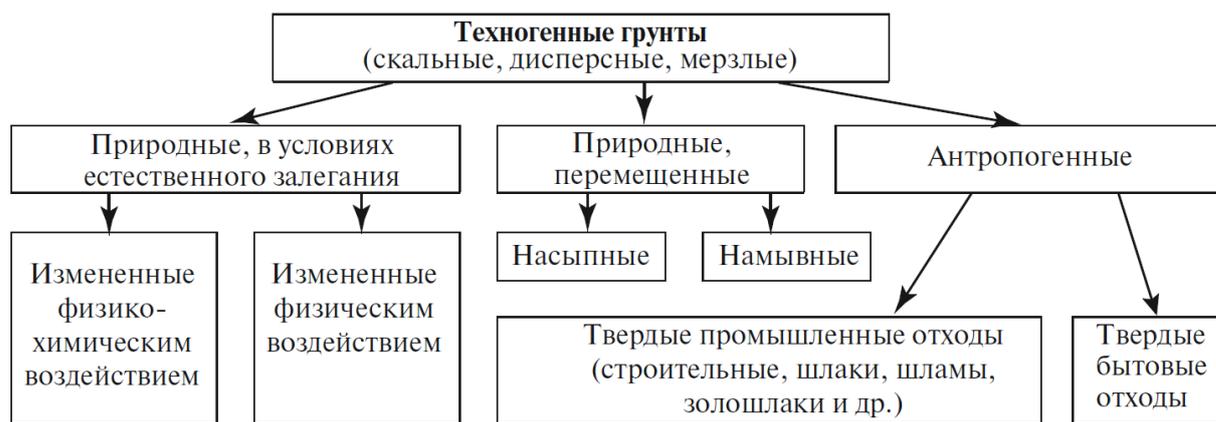


Рисунок 1.5. Классификация техногенных грунтов А.Н. Галкина [28]

Также А.Н. Галкиным приведены основные факторы, влияющие на формирование свойств техногенных грунтов разных подгрупп. Так, для подгруппы «Природные перемещенные» главным фактором является *дисперсность* грунтов, определяющая *технология перемещения* (гидронамыв или укладка в насыпь). *Фактор времени* определяет степень уплотненности грунтов, формирование коагуляционных и слабых конденсационных структурных связей, процессы упрочнения и т.д. *Пространственное (координатное) положение* определяет скорость изменения характеристик техногенных грунтов после формирования массива, при этом не сказывается на самих свойствах. Для группы «Антропогенные» наибольшее влияние на формирование свойств оказывают исходный состав материала и возраст массива [28].

Известны работы зарубежных ученых в области разработки классификаций. Так, Г.Г. Мейергоф разделял насыпные грунты на две группы: а) отвалы естественных отложений и б) отвалы промышленных и бытовых отходов, далее – по крупности материала, виду производства и способу отсыпки. Г. Далримпл разделял насыпные грунты на три группы: а) мусор и беспорядочные свалки; б) однородный грунт с включениями домашних отбросов и в) чистый грунт [10].

Современные зарубежные разработки в области изучения техногенных грунтов направлены в первую очередь на картирование занятых ими территорий и систематику с учетом их состава и положения в разрезе [140, 141, 148]. При этом инженерно-геологическая характеристика техногенных отложений различного происхождения не приводится. Так, в словаре горных пород Британской геологической службы (БГС) техногенные образования делятся на пять классов: насыпи (made ground), выемки (worked ground), засыпанные понижения в рельефе (infilled ground), нарушенные грунты (disturbed ground) и спланированные территории (landscaped ground) (рис. 1.6) [166]. Д. Фордом с соавторами [141] на основе разработок БГС предложена улучшенная классификация, учитывающая взаимное «перекрывание» классов.

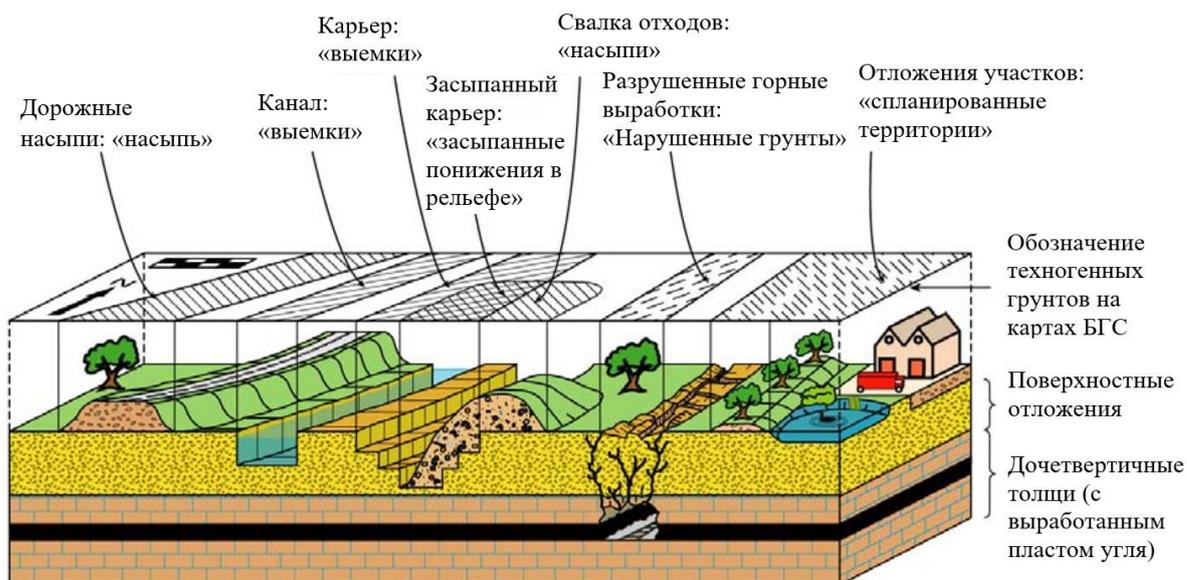


Рисунок 1.6. Примеры техногенных грунтов различных классов и их изображение на картах по [141] с изменениями автора

Разработки БГС послужили основой и для других классификаций [146, 147]. Например, классификация А. Пеллоджа имеет несколько иную структуру [146]. Техногенные грунты делятся по четырем таксонам: классы – по характеру изменения природных грунтов (улучшенные, модифицированные, ухудшенные и комплексные); категории (техногенные ландшафты, перемещенные грунты и поверхностные антропогенные образования); типы – по характеру антропогенного воздействия на грунт и техногенные слои по характерным признакам (например, загрязненные почвы), по назначению или формам рельефа. Несмотря на несовершенную логическую структуру, классификация дает первоначальное представление об инженерно-геологических характеристиках грунтов.

Среди частных классификаций можно выделить работу А.М. Худайбергенова [130]. Антропогенные отложения г. Ташкента он разделяет на два комплекса: насыпные отложения и отложения искусственных водоемов. Насыпные отложения, в свою очередь делятся: на типы – по виду деятельности; на виды – по конкретному назначению и разновидности – по литологическому составу. А.М. Худайбергенов в своей работе связывает состав и свойства антропогенных образований не только с видом хозяйственной деятельности, но и с культурой и обычаями населения территории, а также давностью освоения территории, поэтому среди видов в данной классификации можно встретить грунты исторических оборонительных сооружений, отходы древнего ремесленного производства и т.п. Однако, на территориях большинства крупных городов преобладают современные техногенные отложения, имеющие возраст не более 150 лет, а грунты древнего культурного слоя играют подчиненную роль, поэтому, по мнению автора, их разделение целесообразно при детальном археологическом исследовании.

Частная классификация техногенных отложений г. Москвы Э.А. Лихачевой [81] предлагается в качестве легенды к Схеме распространения техногенных отложений на территории г. Москвы. В данной типизации грунты разделяются на основе состава и мощности отложений, типа землепользования. Для каждого типа приведен перечень негативных техногенных процессов, связанных с ними. Подразделение грунтов выполнено достаточно детально, приводится генезис, связанный с условиями и способами образования, также учитываются полигенетические грунты, что отличает данную типизацию от многих других в лучшую сторону.

В 2007 г. М.А. Викторовой была защищена диссертация на соискание степени кандидата геолого-минералогических наук [24], в которой предложена типизация грунтов несанкционированных строительных отвалов и свалок, составленная на основе разработанной ранее на кафедре инженерной и экологической геологии МГУ им. М.В. Ломоносова типизации насыпных грунтов городских территорий и разработок Ф.В. Котлова. В данной частной классификации выделяются планомерно и стихийно образованные массивы насыпных грунтов, представленные преимущественно отходами различного происхождения, в т.ч. и грунтами культурного слоя. Отличительной особенностью данной типизации является выделение подтипов грунтов по наличию биогаза, содержащегося в поровом пространстве [25]. Такое подразделение грунтов имеет практическую ценность, т.к. пожаро- и взрывоопасность грунтов зависят от соотношения содержания таких газов, как  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  и  $H_2$  [23].

Существуют и классификации грунтов культурного слоя, используемые как в геологии, так и в археологии. Так, Д.Ю. Здобин сформулировал определение культурного слоя, основанное на других многочисленных определениях, а также привел классификацию грунтов, которую могли бы использовать в своих работах и археологи [55]. При этом Д.Ю. Здобин обращает внимание на то, что грунты культурного слоя являются одной из трех его составляющих, наравне с палеопочвами и артефактами. Такие грунты обладают рядом характерных признаков, и их следует отличать от техногенных грунтов в инженерно-геологическом понимании. Однако, нельзя не отметить, что можно рассматривать почвы как грунты [42], а артефакты как включения в основной дисперсной массе.

В 2008-2009 гг. совместно ГУП «Мосгоргеотрест», Институтом геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН и НПО «Георесурс» был составлен комплект тематических крупномасштабных карт территории г. Москвы, в т.ч. карта техногенных отложений. Данная работа стала передовой разработкой в сфере инженерных изысканий – впервые был систематизирован и сведен воедино в графическом виде материал, накопленный за долгие годы работы ГУП «Мосгоргеотрест», разработаны специальные геоинформационные подходы к ее

отображению [16].

Легенду к карте также можно рассматривать как прообраз классификации. На карте выделяются разные области техногенных отложений:

- по мощности – 0-2 м, 2-4 м, 4-6 м и более 6 м;
- по происхождению – хозяйственно-строительные, хозяйственно-бытовые, промышленные (шлаки, золы) и смешанные;
- по составу – в случае, если техногенные грунты представлены естественными измененными и перемещенными образованиями, – супесчано-суглинистые, гравийно-обломочные, скальные и смешанные.

Стоит отметить, что шесть метров – далеко не предел мощности техногенных грунтов на территории г. Москвы. В зависимости от строения массива и его положения относительно природных форм рельефа мощности техногенных грунтов в некоторых случаях могут варьировать от 15-30 м до 40 м и более.

На современном этапе проблемами техногенных грунтов занимаются многие исследователи. В основном их работа направлена на обоснование применимости отходов различных производств в строительстве: как строительный материал или в качестве оснований зданий и сооружений. Изучение грунтов культурного слоя на территориях крупных городов проводится исключительно в рамках инженерных изысканий. Причем от массивов насыпных грунтов неоднородного строения пытаются избавиться путем замены их на грунтовые подушки, либо используют свайные фундаменты.

Огородниковой Е.Н. и Николаевой С.К. в 2004, а, позже, 2017 г. было выпущено учебное пособие «Техногенные грунты», которое является результатом не только обобщения имеющихся данных о техногенных грунтах различного происхождения со всего мира, но и многолетней работы авторов по их детальному изучению [97].

Также типизация, районирование и оценка инженерно-геологических характеристик техногенных, в частности, насыпных грунтов проводилась для территорий таких городов, как Казань [52], Томск [51], Саратов [133, 134], Пермь [108, 109], Иркутск [14] и др.

Таким образом, история изучения техногенных грунтов насчитывает уже несколько столетий, но направлений для их дальнейшего исследования еще достаточно. Одним из важных направлений изучения насыпных техногенных грунтов городских территорий является разработка единых норм и методики полевых и лабораторных исследований на производстве.

### **1.3. Изученность состава, строения и свойств насыпных грунтов**

Техногенные грунты – молодые геологические образования, формирование которых происходит лишь малую долю голоцена. В образовании *культурного слоя* задействованы два

процесса: первый – накопление насыпного материала на дневной поверхности при различной хозяйственной деятельности человека, второй – изменение приповерхностной части грунтовых массивов с целью проведения строительных работ и благоустройства. Способ образования техногенных грунтов непосредственно влияет на их химико-минеральный состав.

Грунты культурного слоя образуются следующими путями:

- возведение насыпей при строительстве сооружений в низких и сырых местах;
- за счет отвалов при производстве земляных работ;
- накопление строительного мусора и бытовых отходов;
- при благоустройстве дворов, сооружения каменных и деревянных мостовых;
- при заглублении фундамента городских сооружений;
- за счет строительства гидротехнических сооружений;
- при укладке в подземное пространство различного рода коммуникаций;
- при погребении умерших людей и животных [69].

Список источников формирования грунтов культурного слоя разнообразен, поэтому и состав этих грунтов также довольно пестрый. Однако, их состав определяется не только хозяйственно-бытовой деятельностью человека, но и геологическими факторами: 1) рельефом местности; 2) литологическим составом местных или перемещенных пород; 3) гидрогеологическими условиями.

Геоморфологическое строение местности определяет вертикальную планировку города, мощности отложений и условия накопления: в качестве свалочных пунктов при реализации земляных работ используются и по сей день овраги, поймы и низкие террасы рек, болота, брошенные карьеры, высохшие пруды, старицы и т.д. Культурный слой залегает на поверхности и, как правило, подстилается четверичными отложениями, поэтому литологический состав четвертичных пород также определяет состав грунтов культурного слоя, а гидрогеологические условия определяют глубину заложения фундаментов и подвальных помещений, необходимость закрепления слабых грунтов оснований, развитие процессов подтопления и т.д. [97]. При возведении дорожных насыпей наличие поверхностных водотоков и оврагов определяет конструкции дренажных систем [137].

Е.М. Пашкин в толще техногенных грунтов культурного слоя выделяет две отличающихся друг от друга пачки. Верхняя сложена песчано-глинистым грунтом с включениями строительного мусора, недоуплотненная и неслежавшаяся, накопленная преимущественно в XVI-XX вв. В ней имеются следы химического загрязнения и засоления. Нижняя пачка представлена черными и темно-бурыми более древними преимущественно глинистыми грунтами с высоким содержанием органического вещества. В толще имеются включения деревянных и

каменных мостовых, погребенных сооружений [102].

На территориях г. Москвы, как и других крупных городов, минеральный состав грунтов культурного слоя представлен:

- первичными силикатами;
- небольшим количеством гидрослюд и смешанослойных минералов;
- большим количеством карбонатов, обусловленным остатками строительных материалов – бутовым камнем, известью, штукатуркой, цементирующими растворами;
- рентгеноаморфным веществом [47].

Как правило, грунты культурного слоя представлены основной массой (природный грунт) и инородными включениями (остатки строительных материалов, щебень и дресва горных пород, обломки кирпича и керамики, металлические и неметаллические предметы, стекло и органическое вещество). Причем каждая из фракций грунта представлена своим минерально-вещественным набором. При изучении грунтов культурного слоя Троице-Сергиевой Лавры были получены следующие данные.

*Песчаные разности:*

- до 60-70 % – кварц;
- до 14 % – карбонаты;
- железосодержащие минералы;
- органическое вещество (растительные остатки, древесная щепка, уголь местных деревьев).

*Суглинисто-супесчаные отложения:*

- кварц 44-80 %;
- полевые шпаты – альбит 3-6 %, микроклин 2-8 %;
- роговая обманка 1-2 %;
- карбонаты 1-9 %.
- глинистые минералы: иллит 1-2,5 %; гидрослюда до 1-2 %; смешанослойные минералы до 1-2 %; смектит до 1-2 %; каолинит <1 %; хлорит  $\approx$ 1 %; вермикулит до 2-3 % [91].

Включения не всегда представлены исключительно строительным мусором и т.п., зачастую в грунтах культурного слоя попадают артефакты (орудия труда, инструменты, посуда, украшения), которые позволяют определить возраст культурного слоя и скорость его накопления. Большое содержание органических остатков является характерной особенностью грунтов культурного слоя, отличает их от природных разностей и определяет их свойства [97].

Химический состав грунтов культурного слоя представлен двумя типами компонентов: унаследованными от местных горных пород и почв и внесенными в толщу в результате бытовой, хозяйственной и производственной деятельности человека. Большая часть органического вещества и аутигенные минералы были сформированы на поверхности культурного слоя или в его толще под влиянием биологических и физико-химических процессов. В процессе существования грунтов культурного слоя в их толще формируются геохимические барьеры – щелочной, сероводородный, карбонатный, сульфатный. В валовом химическом составе грунтов культурного слоя имеются отличия от природных грунтов, обусловленные присутствием инородных включений [57].

Также в связи с расширением городских агломераций в насыпные грунты городских территорий вовлекаются массивы *коммунальных отходов*, которые в отличие от грунтов культурного слоя накапливаются более систематизировано на специально отведенных площадках: их складировать в планомерно возведенных отвалах или насыпных свалках. Основными компонентами массивов твердых бытовых отходов являются бумага (40 %) и пищевые отходы (до 60 %), также содержатся металл, шлаки, зола, пластик, кожа, резина, дерево и растительные остатки [84].

Среди свалочных накоплений выделяются собственно бытовые (коммунальные) и промышленные отходы. В большинстве промышленных городов на территории РФ соотношение бытовых и промышленных отходов равно 1:1 [99].

В настоящий момент полигоны ТКО имеют сложное строение, в котором принимают участие различные природные и искусственные материалы. Например, для защиты грунтовых вод от проникновения вредных химических соединений дно котлована будущего полигона выстилается глинистым экраном, грунтобитумным экраном, экраном из латекса или полиэтилена [106]. Зачастую бытовые отходы смешиваются или переслаиваются с природным грунтом. Таким образом, вещественный состав полигонов ТКО определяется геологическим строением местности (составом пород), интенсивностью и видом хозяйственной деятельности человека.

Химический состав грунтов свалок показывает наличие целого ряда компонентов, содержание которых значительно превышает ПДК:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Sr}^{2+}$  и т.д. В грунтах прилегающих к свалкам территорий наблюдается повышенное содержание тяжелых металлов: Zn, Pb, Cu, Cr, Ni и др. При разложении органических веществ в грунтах свалок при участии микроорганизмов в атмосферу поступают метан, углекислый газ, азот, аммиак, сероводород и др. В некоторых соотношениях такая газово-воздушная смесь может быть легко воспламеняема и даже взрывоопасна. Массивы свалок и полигонов ТКО бесспорно являются одним из главных источников химического загрязнения подземных вод, воздуха и грунтов [97].

Подобно полигонам ТКО экологическую опасность представляют и *грунты несанкционированных строительных отвалов и свалок*. Разложение органического вещества особенно активно происходит при температурах 50-100°C, что приводит к обильной газогенерации.

Содержание  $C_{\text{орг}}$  в них колеблется от 0,3 до 3,6 и реже до 11,3 %. Содержание органического вещества в грунте тем больше, чем больше в нем антропогенных включений. Минеральный состав таких грунтов в большей степени определяется составом природных перемещаемых в отвал грунтов и зависит от геологического строения территории [26].

Состав *планомерно отсыпанных грунтов* определяется инженерно-геологическими задачами. В сложных условиях для усиления оснований зданий и сооружений, при возведении насыпей используется преимущественно крупнообломочный и песчаный грунт. В гидротехническом строительстве насыпи возводятся также из глинистых грунтов. Состав планомерно возведенных насыпей отличается однородным составом, однако, однородность может быть нарушена наличием глинистого противифльтрационного ядра в плотинах и дамбах. По СП 45.13330.2017 «Земляные сооружения, основания и фундаменты» [118] к грунтам планомерно возведенных насыпей предъявляются требования к составу и строению: содержание древесины, волокнистых минералов, гниющего и легкосжимаемого строительного мусора в грунтах насыпей не допускается, количество водорастворимых солей не должно превышать указанного в проекте, содержание мерзлых комьев не более 20 %, размер твердых включений не должен превышать 2/3 толщины уплотненного слоя, но не более 15-30 см, наличие снега и льда не допускается [97].

Иногда при возведении автодорожных и железнодорожных насыпей с целью улучшения прочностных и деформационных характеристик, а также с целью понижения стоимости строительства, используются антропогенные образования – отходы промышленной и промышленно-энергетической деятельности человека. Малоактивные золы и металлургические шлаки редко применяются в дорожном строительстве самостоятельно, чаще в сочетании с традиционными вяжущими веществами [75].

Самым специфическим случаем является наличие на городских территориях грунтов *отвалов горного производства*, которые формируются в процессе добычи полезных ископаемых. Так, например, на территории г. Пласт (Челябинская обл.) практически повсеместно встречаются старые вскрышные отвалы и отвалы хвостов золотодобычи. Их состав сильно отличается от первоначального природного залегания вследствие многолетнего выветривания или химико-механической переработки материала. Химический анализ твердого вещества обнаружил в количествах, превышающих ПДК по СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для

строительства» [115] наличие следующих элементов: Pb (33-246 ppm), As (218-3597 ppm), Zn (87-1019 ppm), V (36-190 ppm), S (0,13-1,31 %), Sb (26-314 ppm) [3]. Данные элементы входят в геохимическую ассоциацию, характерную для Кочкарского рудного месторождения.

Влияние на химический состав таких грунтов оказывает способ обогащения руды. Для извлечения золота используется технология цианирования с последующим обезвреживанием гипохлоритом кальция, что и приводит к высокому содержанию ионов кальция в составе водной вытяжки [95].

Таким образом, вещественный состав различных типов насыпных техногенных грунтов городских территорий разнообразен. Он определяется в первую очередь геологическим строением местности, а также инженерно-хозяйственной деятельностью человека.

Техногенные грунты, к образованию и складированию которых приложена рука человека, являются специфическими геологическими образованиями, поэтому имеют и специфические, отличные от природных грунтов, строение и свойства. В целом насыпные грунты в зависимости от происхождения могут служить как хорошими основаниями, так и стать причиной неравномерных осадок сооружений [49].

Грунты культурного слоя имеют, как правило, стихийный характер накопления, строение их массивов неоднородно, происходит резкая смена состава как по вертикали, так и по горизонтали даже на расстоянии нескольких метров. Среди дисперсной массы грунтов культурного слоя по гранулометрическому составу встречаются пески различной крупности, супеси, суглинки и, реже, глины. Размер крупных включений варьирует в пределах от 1-2 см до первых метров (погребенные разрушенные здания, деревянные сваи и т.п.). Мощности грунтов культурного слоя также имеют большой разброс. Например, мощности грунтов культурного слоя на территориях оборонительных сооружений приведены в таблице 1.6. Некоторые из них находятся на территории г. Москвы.

По данным Ф.В. Котлова [68] мощности культурного слоя в крупных старых городах могут достигать 25-40 м.

Грунты культурного слоя имеют плотность твердой фазы 2,40-2,76 г/см<sup>3</sup> в зависимости от состава твердого компонента. Значения оказываются заниженными из-за наличия органического вещества, солей и строительных материалов низкой плотности (красок, извести, штукатурки и т.д.). Плотности таких грунтов по сравнению с природными могут быть занижены на 0,08-0,17 г/см<sup>3</sup>.

По разного рода причинам плотности грунтов культурного слоя становятся заниженными, повышаются пористость, коэффициент пористости, что сказывается на их деформируемости. Плотность песчаных грунтов составляет 1,45-2,02 г/см<sup>3</sup>, глинистых 1,36-2,06 г/см<sup>3</sup>. Низкие

значения плотности обусловлены не только наличием крупных пор в грунте, а еще и каверн, и пустот, образовавшихся при укладке материала, а также следствием разложения органических включений. Наоборот, повышенные значения плотности связаны с присутствием плотных включений (минеральных, металлических).

Таблица 1.6

Мощность культурного слоя на территории оборонительных сооружений-памятников архитектуры по [103]

Памятник архитектуры	Мощность культурного слоя, м
Московский Кремль	2,2-12,1
Ростовский кремль	0,5-5,4
Новгородский кремль	2,0-6,0
Вологодский кремль	0,5-3,5
Астраханский кремль	до 2,5
Киево-Печерская лавра	1,7-2,9
Троице-Сергиева лавра	1,2-4,4
Кирилло-Белозерский монастырь	до 3,3
Соловецкий монастырь	0,8-2,5
Ново-Иерусалимский монастырь	2,0-6,5
Новодевичий монастырь	0,5-2,2
Мирожский монастырь	0,3-2,0

Естественная влажность грунтов культурного слоя зависит от дисперсности основной массы, характера подстилающих грунтов, наличия дренажных систем, а также может быть обусловлена искусственными факторами: организацией полива территории, утечкой вод из коммуникаций, подтоплением, снегоуборкой, откачкой грунтовых вод и т.д., – поэтому естественная влажность находится в широком диапазоне значений. Обычно в песчаных грунтах она колеблется в пределах 2-20 %, в глинистых – 3-44 %, в органоминеральных грунтах – до 300 %.

По числу пластичности глинистые грунты культурного слоя чаще относятся к супесям и суглинкам из-за низкого содержания глинистых фракций и гидрослюдистого состава с примесью каолинита, кварца и кальцита. В органоминеральных грунтах пластичность выше [97].

В связи с неоднородностью состава, содержанием высокодисперсного материала и органических веществ в песках культурного слоя часто проявляется значительное капиллярное поднятие, которое может превышать 65 см. Часто капиллярное поднятие приводит к разрушению и деформациям памятников архитектуры. Как бы ни были защищены конструкции сооружений,

влага, подходящая снизу усиливает морозное выветривание материала, что и приводит к «скрытому» разрушению [104].

Физико-механические свойства грунтов культурного слоя изучены недостаточно. Причиной этого в первую очередь является неоднородность толщи, наличие крупных включений, что приводит к необходимости применения полевых методов определения прочностных и деформационных характеристик грунтов, которые часто затруднены. Накопление статистических данных по неоднородным грунтам также затруднено. Физико-механические свойства зависят от состава грунтов, их строения и сложной техногенной нагрузки. Точно установлено, что наличие органического вещества в грунтах приводит к снижению деформационных характеристик: модуль общей деформации при нагрузках до 0,3 МПа составляет 0,5-8 МПа. Грунты имеют коэффициент сжимаемости от 0,01 до 0,53 МПа<sup>-1</sup> и являются сильносжимаемыми. Высокими показателями сопротивления сдвигу грунты культурного слоя также не отличаются.

Грунты свалок твердых бытовых отходов и несанкционированных свалок грунтовых строительных материалов также характеризуются неоднородным строением и изменчивостью свойств. Выделяются три основных типа строения массивов свалок: *слоистое* строение, характерное для планомерно отсыпанных грунтов, *линзовидное* и *хаотическое* – при стихийной отсыпке мусора. По гранулометрическому составу данные грунты также крайне неоднородны, причем дисперсность и коэффициент неоднородности со временем увеличиваются (рис. 1.7).

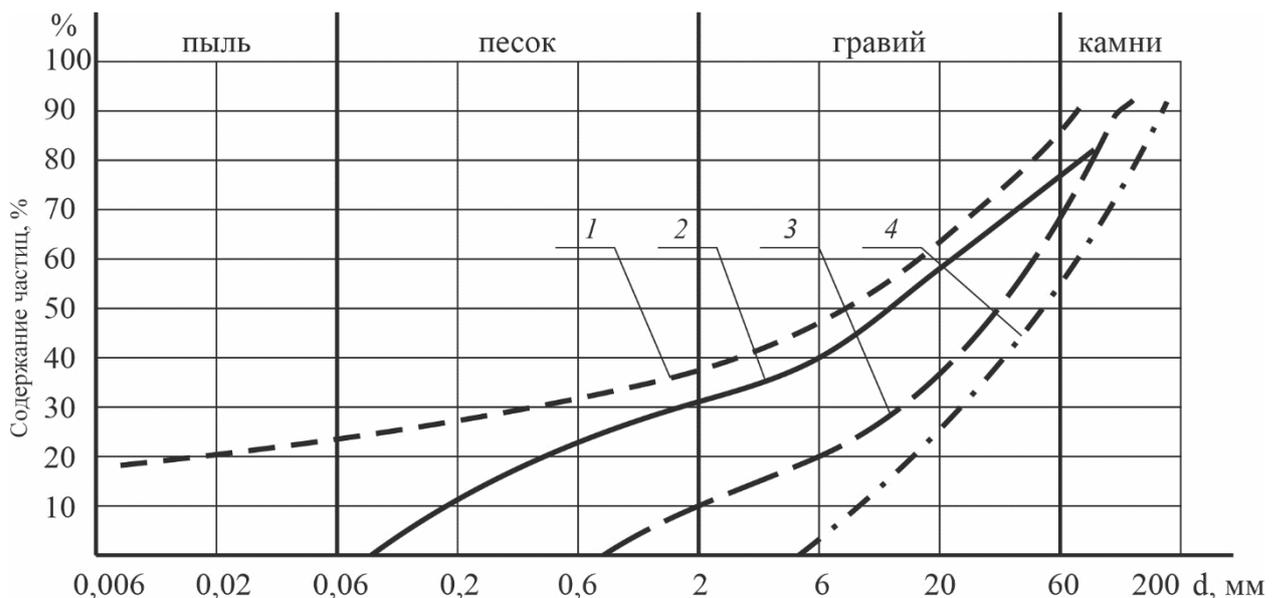


Рисунок 1.7. Интегральные кривые гранулометрического состава мусора различного возраста: 1 – 25 лет (верхняя граница); 2 – 15 лет; 3 – среднее значение; 4 – 9 месяцев (нижняя граница) [30]

Плотность грунтов свалок невелика и составляет 0,62-1,60 г/см<sup>3</sup>, зависит от содержания органического вещества, строения, способа и давности укладки материала и от глубины. Свалки, имея малую плотность, имеют и высокую проницаемость:  $K_f$  составляет  $10^{-3}$ - $10^{-5}$  м/сут.

Показатели физико-механических свойств грунтов свалок низкие и улучшаются по мере слеживания материала: сцепление грунтов составляет 0,026-0,124 МПа, угол внутреннего трения –  $10$ - $19^\circ$ , модуль общей деформации при нагрузке 0,2-0,4 МПа равен 2-3 МПа.

Планомерно образованные насыпные грунты в отличие от грунтов, накапливающихся стихийно, имеют высокие прочностные и деформационные показатели, так как для их укладки используются специальные методы технической мелиорации грунтов. Чаще всего для образования насыпей подготавливают оптимальные грунтовые смеси – это искусственно созданные и уплотненные грунты, которые являются наиболее плотными и устойчивыми при разной степени их увлажнения.

Добавляя в грунт скелетные добавки в виде гравия и песка, можно искусственно изменить гранулометрический состав грунта, тем самым улучшив его свойства – повысив плотность и снизив сжимаемость. Оптимальной является смесь, находящаяся в области, ограниченной следующими содержаниями частиц разных фракций: глинистые частицы – 7-15 %, пылеватые частицы – 20-35 %, песчаные частицы – 55-73 % [22, 78].

Влияние гранулометрического состава грунтовых смесей на их физико-механические свойства изучалось в работе А.Ю. Мирного и А.З. Тер-Мартirosяна. В ходе исследования было установлено, что при содержании 30% включений размером  $>2$  мм модуль деформации увеличивается в среднем на 15%, при 50% снижается практически до исходного значения, а при дальнейшем увеличении крупных частиц постепенно возрастает (рис. 1.8). Максимальная плотность смеси достигается при содержании 70% крупных частиц и растет с увеличением соотношения диаметров. Прочностные характеристики смесей зависят от гранулометрического состава незначительно [87].

Влажность техногенных грунтов планомерно возведенных насыпей соответствует оптимальной влажности уплотнения  $W_{\text{опт}}$ , которая зависит от нагрузки уплотнения. Для глинистых грунтов  $W_{\text{опт}} < W_p$ , а для песчаных  $W_{\text{опт}} = 1,15W_{pk} + 2,5$ . Плотность грунтов устанавливается проектом [97]. Оптимальные грунтовые смеси на выходе должны иметь следующие показатели свойств: число пластичности,  $I_p$ , в пределах 0-6, влажность нижнего предела пластичности,  $W_p$ , 2-7%, липкость,  $L_{\text{max}}$ , до 80 г/см<sup>2</sup>, линейная усадка – 1-3% и прочность на одноосное сжатие в воздушно-сухом состоянии 2-3 МПа [22, 78].

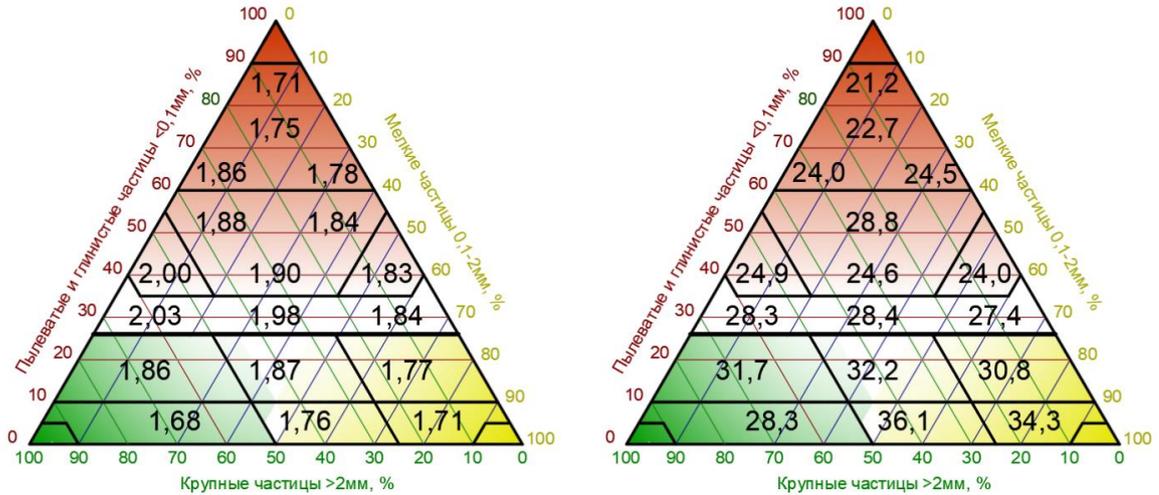


Рисунок 1.8. Номограммы зависимости максимальной плотности (слева) и модуля общей деформации (справа) от гранулометрического состава [87]

Факторами, влияющими на сжимаемость техногенных грунтов, являются:

- однородность состава и сложения;
- способ отсыпки, включая характер первоначального и последующего уплотнения;
- состав;
- давность отсыпки насыпных грунтов [10].

В соответствии с СП 45.13330.2017 [118] уплотнение насыпных грунтов должно проводиться до достижения заданного проектом значения коэффициента уплотнения. При его отсутствии руководствуются контрольными значениями, приведенными в таблице М.2 указанного нормативного документа (табл. 1.7).

Таблица 1.7

Контрольное значение коэффициента уплотнения  $k_{com}$  по [118]

Тип грунтов	Коэффициент уплотнения $k_{com}$ при нагрузке на поверхность уплотненного грунта, МПа, при общей толщине отсыпки, м			
	0			
	Не более 2	2,01-4	4,01-6	Св. 6
Песчаные	0,92	0,93	0,94	0,95
Глинистые	0,91	0,92	0,93	0,94
	0,05-0,2			
	Не более 2	2,01-4	4,01-6	Св. 6
Песчаные	0,94	0,95	0,96	0,97
Глинистые	0,93	0,94	0,95	0,96
	Св. 0,2			
	Не более 2	2,01-4	4,01-6	Св. 6
Песчаные	0,95	0,96	0,97	0,98
Глинистые	0,94	0,95	0,96	0,97

Коэффициент уплотнения  $k_{com}$  – это отношение достигнутой плотности сухого грунта ( $\rho_d$ ) к максимальной плотности сухого грунта ( $\rho_{dmax}$ ), полученной в приборе стандартного уплотнения по ГОСТ 22733-2016 «Метод лабораторного определения максимальной плотности» [32].

Контроль качества уплотнения грунтов производится как прямыми, так и косвенными методами. Прямым методом является оценка степени уплотнения по ГОСТ 22733-2016 [32], предусматривающая обязательный отбор образца грунта с помощью кольца. К косвенным, более оперативным методам относятся динамическое и статическое зондирование грунтов [83], осуществляемые, например, с помощью динамического плотномера Д-51, забивного зонда ЛЗЗ, статического плотномера ПСГ-1, статических и динамических пенетрометров, измерителей жесткости грунтов и т.д. [112].

С.А. Сазоновой и С.Д. Румянцевым было проведено исследование, посвященное корреляции результатов прямых и косвенных методов, которое показало их низкую сходимость. По мнению авторов, причиной этого является переувлажнение грунтов на строительной площадке во время отсыпки [110].

При этом по современным данным в непланово возведенных массивах насыпных грунтов процессы слеживания (рис. 1.9) и газогенерации могут растягиваться до 30 и более лет (рис. 1.10) [10, 29], что означает невозможность безопасного использования насыпей в качестве оснований до окончания этих процессов.

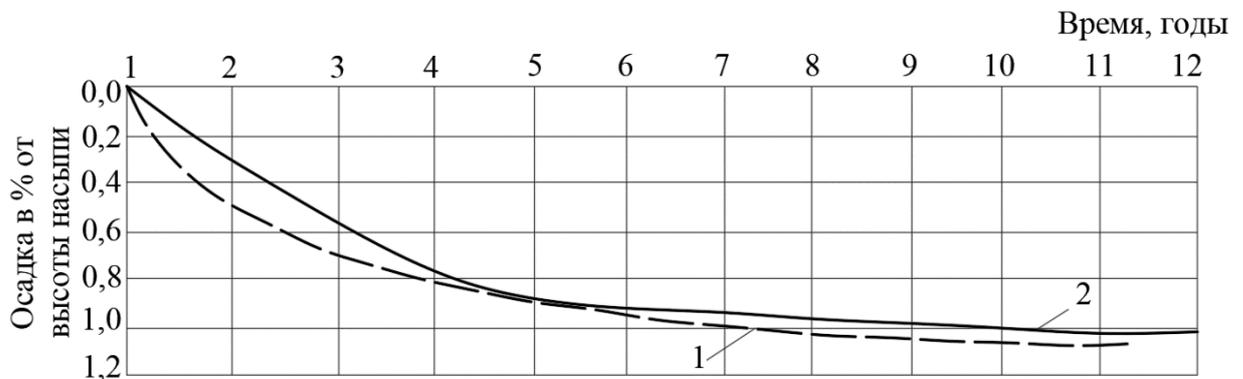


Рисунок 1.9. Осадка дорожных насыпей от собственного веса во времени:  
1 – высота насыпи 7,6 м; 2 – 13,6 м [10]

Если выемка насыпных грунтов нецелесообразна, а процесс слеживания еще не завершен, то при строительстве применяются свайные фундаменты с обязательным учетом отрицательного трения, которое может возникать на боковой поверхности свай при осадке околосвайного грунта [86]. В то же время осадка планомерно возведённых земляных сооружений минимальна, и в первые годы происходит в основном за счет процессов консолидации грунтов основания [19].

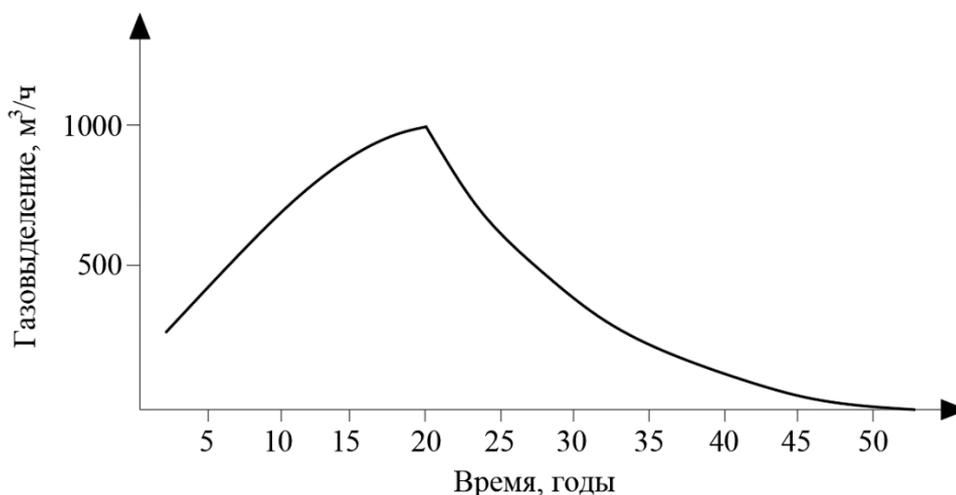


Рисунок 1.10. Газовыделение на свалках [29]

#### 1.4. Современные методы картирования массивов техногенных отложений

Подход, заключающийся в отделении техногенной толщи от залегающих в естественном состоянии грунтов на основе реконструкции хода техногенной трансформации исследуемой территории, в данной работе получил название «ретроспективного анализа».

Ранее ретроспективный анализ был применен Ф.В. Котловым при описании антропогенных изменений рельефа г. Москвы [67]. В качестве источников для построения восстановленного рельефа предполагалось использовать древние планы, отметки подошвы и мощности культурного слоя (ранее под данным термином подразумевались все техногенные отложения), древние летописи, зарисовки, снимки, словесные топографические описания и заметки, сделанные путешественниками, краеведами, старожилами города, исследователями. Наиболее древними, доступными для Ф.В. Котлова картографическими источниками, стали план-рисунок С. Гербенштейна 1517-1526 гг., инструментальный план 1739 г., составленный под руководством И. Мичурина в масштабе 250 саж. в 1 дюйме и др. Используя данный подход, Ф.В. Котлову удалось не только показать случаи повышения и понижения отметок рельефа, но и количественно оценить эти изменения.

На основе ретроспективного анализа Э.А. Лихачевой, Л.С. Курбатовой, Е.И. Махориной была построена карта техногенных отложений г. Москвы масштаба 1:50 000 [80]. В качестве исходных материалов использовались данные буровых работ, старые топографические планы, ранее построенные карты техногенных отложений, данные анализа инфраструктуры города, результаты повторных нивелировок.

Н.В. Аникиной была произведена оценка трансформации рельефа центральной части г. Москвы в период с конца XIX по конец XX вв. путем сравнения цифровых моделей рельефа разных лет, построенных с использованием архивных данных буровых работ. В ходе исследования выявлены области *аккумуляции*, выраженной в накоплении техногенных

отложений при засыпке долин мелких водотоков и планировке пойменных участков р. Москвы, засыпке подтопленных и заболоченных территорий, и области *денудации*, представленной в виде котлованов под крупнейшие здания и сооружения, выемок автомобильных и железных дорог, планировки водораздельных поверхностей. По данным исследования, средняя мощность техногенных отложений составила 2,8 м при максимальном значении 20,0 м [15].

Подобное чуть более позднее исследование Е.А. Карфидовой и И.М. Кравченко было основано на сравнении нивелирного плана центра г. Москвы 1879 г., выполненного под руководством Д.П. Рашкова в 1878-1879 гг. на основе топографической съемки, и цифровой модели современного рельефа, составленной по данным дистанционного зондирования SRTM v.4 [60]. В результате расчета разницы абсолютных высот между современным и историческим рельефами общее «воздымание» территории составило 14,8 м при локальных понижениях до 10,0 м. Оба вышеописанных исследования затрагивают только центральную часть г. Москвы в пределах Камер-Коллежского вала.

Определение мощности техногенных отложений путем «вычитания» рельефов разных лет в работе А.Н. Хацкевича с соавторами получил название «метода топографических поверхностей», применение которого осуществлялось с помощью программы AutoCad. В результате наложения топографических планов 1937 и 2006 гг. исследователями была построена карта мощности и условий залегания техногенных грунтов на участке строительства в г. Москве в долине р. Котловки, содержащая три элемента: стратоизогипсы подошвы и изопахиты мощности насыпных грунтов, а также контуры проектируемых зданий и сооружений [129]. Однако, спустя годы изопахиты мощности потеряли актуальность, при этом топографический план 2006 г. распространялся не на всю исследованную территорию. Аналогичный подход применялся и А.С. Шешнёвым при картировании техногенных отложений г. Саратова [133].

Методы трехмерного моделирования восстановленного рельефа применялись в области археологии корейскими учеными из университета Ханянг (г. Сеул, Южная Корея) [142]. С помощью оценки техногенных и природных преобразований рельефа, восстановления древней гидрографической сети, анализа паводковых и нормальных уровней рек с учетом колебаний уровня моря, был восстановлен древний рельеф Сеула 1500-летней давности, что позволило более эффективно назначать участки для археологических раскопок с целью сохранения исторических территорий города. Ранее раскопки проводились равномерно по городу, но конкретный участок выбирался «наугад». В качестве исходной информации были использованы данные ранних раскопок, которые помогли установить подошву техногенных отложений и произвести оценку границ водотоков и морского берега, а также архивные исторические материалы (летописи, легенды, архивы), по которым были определены местоположения пирсов,

бухт, паводковых уровней и т.д. В статье описан довольно широкий спектр применяемых методов, но основное внимание уделено поиску новых участков для раскопок, а не мощности и составу техногенных отложений [142].

Группой исследователей из Китая, США и Италии была произведена качественная и количественная оценка изменений рельефа, произошедшая с 2008 по 2016 гг. на пяти ключевых участках разного типа: природные заповедники, искусственные насаждения, сельскохозяйственные районы, городские территории, участки открытой разработки полезных ископаемых [148]. Было установлено – наиболее освоенные территории меняются с бóльшей скоростью, чем наименее освоенные, что говорит о нелинейном изменении темпа геоморфологических преобразований в результате деятельности человека.

Коллеги из Испании применяли ретроспективный подход [144] при создании базы данных о геологическом строении городов средней крупности. На основе информации по 950 скважинам с данными о мощности, составе и свойствах техногенных отложений, построение модели восстановленного рельефа производилось путем вычитания отметок цифровой модели рельефа (ЦМР) 1869 г. из современных. Масштаб картографических материалов составлял 1:5 000. Данные выработок позволили произвести районирование территории по категориям техногенных отложений: I – земляные работы, связанные с городским развитием; II – грунты, измененные в результате проектов гражданского строительства; III – грунты, измененные в результате разработки карьеров; IV – места захоронения отходов. Средняя мощность отложений составила 1,9 м при максимальном значении 25,0 м [144].

### 1.5. Выводы к главе 1

Анализ существующих на сегодняшний день литературных данных позволяет делать следующие **выводы**.

1. На городских территориях встречаются такие техногенные насыпные грунты как

- грунты культурного слоя,
- насыпи под линейные сооружения,
- грунтовые подушки,
- обратные засыпки,
- грунты засыпки природных и техногенных отрицательных форм рельефа,
- грунты плотин гидротехнических сооружений,
- свалки и полигоны ТКО.

2. В связи с ростом населения, активной реновацией устаревших сооружений и расширением территорий города скорость накопления техногенных отложений стремительно увеличивается.

3. Состав техногенных грунтов представлен основной массой, соответствующей составу природного грунта, и включениями, определяющими характер хозяйственной деятельности на данной территории, – кирпичом, известью, асфальтом, металлическими предметами, бытовым и строительным мусором, артефактами (кожа, посуда, драгоценности). Характерной особенностью является наличие большого количества органического вещества – древесины, деревянных предметов и свай, тряпок.

4. Стихийно отсыпанные техногенные грунты имеют пестрый состав и неоднородное строение, вследствие чего – неравномерную сжимаемость, отличаются низкими показателями плотности, прочностных и деформационных характеристик. Такие грунты имеют возможность самоуплотняться под собственным весом.

5. Грунты планомерно возведенных насыпей имеют заданные проектом характеристики: оптимальную влажность уплотнения и максимальную плотность скелета, соответствующую такой влажности. Показатели прочностных и деформационных характеристик таких грунтов высокие. Часто используются оптимальные грунтовые смеси.

6. Существующие на сегодняшний день классификации техногенных и, в частности, насыпных грунтов не охватывают всего их многообразия и не в полной мере дают представление об их инженерно-геологических особенностях, потому что отражают либо генетические, либо морфологические аспекты. Необходима разработка типизации, учитывающей не только генетические, но и инженерно-геологические особенности насыпных грунтов, а также пространственное положение и строение массивов, сложенных ими.

7. На территории г. Москвы источниками насыпных техногенных грунтов служит хозяйственная деятельность. Основным источником техногенных грунтов служит инженерно-строительная деятельность, но хозяйственно-бытовая и промышленная играют не менее важную роль. Стоит также выделить в отдельную группу грунты, сформированные в ходе последовательного или одновременного осуществления разных видов деятельности.

8. Слабо изучены вопросы трансформации свойств грунтов при извлечении из природных массивов и переотложении в виде насыпей, изменения свойств переотложенных грунтов во времени.

## Глава 2. Характеристика объектов исследования

Объектами исследования в данной работе являются насыпные техногенные грунты, расположенные в пределах г. Москвы. Выбранная территория находится в пределах одной инженерно-геологической структуры и имеет ограниченное количество видов природных грунтов, вовлеченных в сферу хозяйственной деятельности.

Стоит отметить, что с 1-го июля 2012 г. к территории г. Москвы присоединены два административных округа (Троицкий и Новомосковский), получившие неофициальное название «Новая Москва» или ТиНАО. Территорию г. Москвы в прежних границах, противопоставляя этому названию часто именуют «Старой Москвой». Площадь присоединенной территории составляет 1480 км<sup>2</sup>, что превышает суммарную площадь остальных округов г. Москвы почти в 1,5 раза. При этом Новая Москва характеризуется сравнительно невысокой степенью геологической изученности в сочетании с относительно небольшой и неравномерно распределенной техногенной нагрузкой, что обуславливает локальное распространение насыпных грунтов на данной территории и их меньшую мощность.

### 2.1. Инженерно-геологические условия территории г. Москвы

Москва находится в центральной части Восточно-Европейской равнины, в бассейне р. Москвы. В соответствии с районированием Н.В. Макаровой и С.В. Григорьевой территория города расположена в двух крупных геоморфологических областях (рис. 2.1): **Смоленско-Московская возвышенность (А)**, в пределы которой входят районы – Клинско-Дмитровская возвышенность (А-I) и Москворецко-Окская равнина (А-II); **Мещерская низменность (Б)**, в которую входят Центрально-Московская возвышенность (Б-I), Лосиноостровско-Измайловская (Б-II) и Москворецко-Яузская равнины (Б-III). Районы, в свою очередь, более дробно делятся на подрайоны: Зеленоградско-Химкинская возвышенность (А-I-1), Рублевско-Верхнеяузская равнина (А-I-2), Одинцовско-Голицинская равнина (А-II-1), Теплостанская возвышенность (А-II-2), Деснинско-Пахринская (Троицкая) равнина (А-II-3), Пахринско-Мочинская равнина (А-II-4) и Нара-Мочинская равнина (А-II-5); долины крупных рек – среднего (Звенигородского) течения Москвы (А-III-1), Десны (А-III-2), Пахры (А-III-3) и Мочи (А-III-4), Яузская равнина (Б-III-1), Москворецкая равнина (Б-III-2) [85].

Минимальная абсолютная отметка меженного уровня р. Москвы в районе Перервинской плотины (Коломенское) составляет 114,2 м, максимальная абсолютная отметка – вершина Теплостанской возвышенности в районе Теплый Стан – 254,4 м [149].

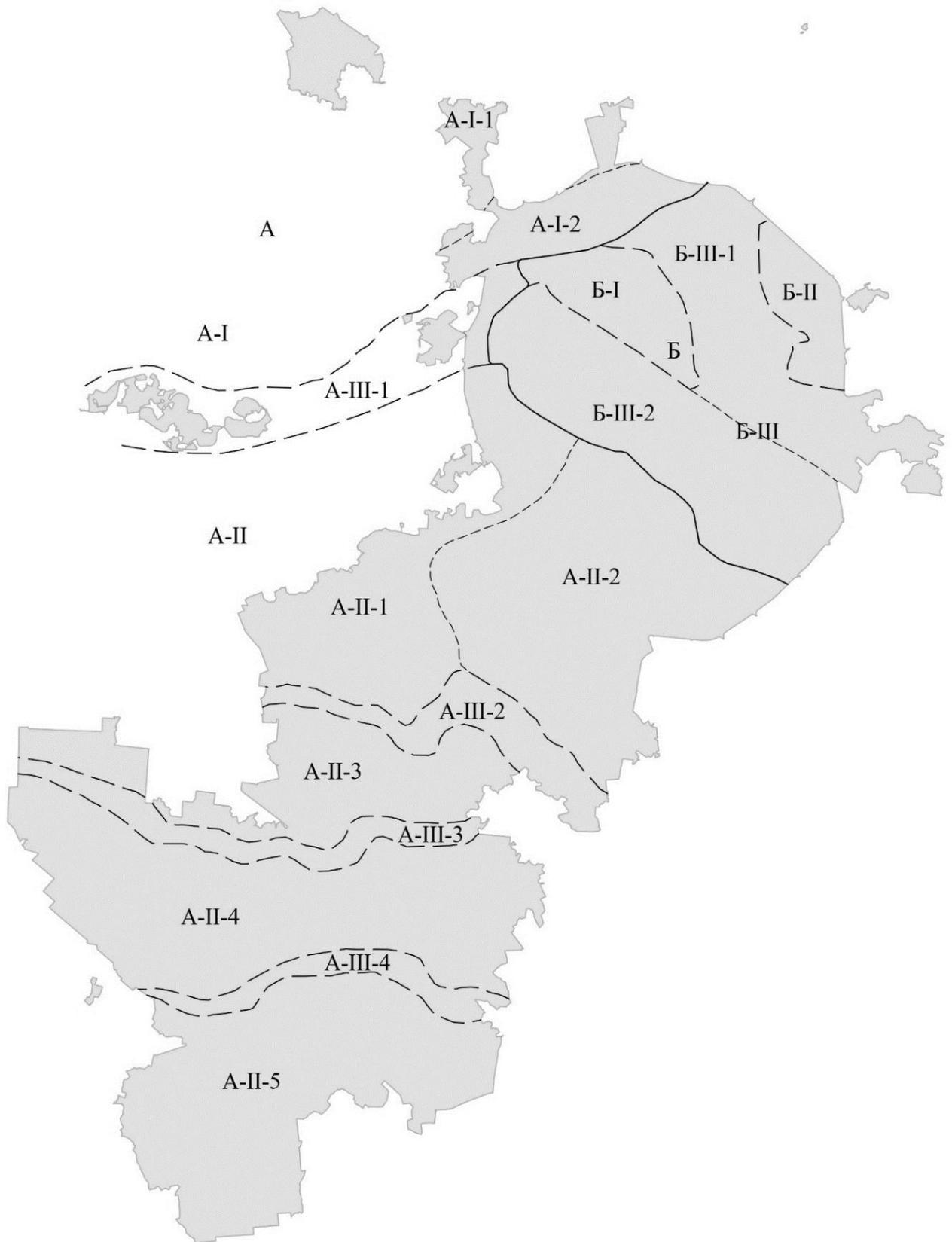


Рисунок 2.1. Геоморфологическое районирование территории г. Москвы в новых границах по [85] с изменениями автора (пояснения в тексте)

В геологическом строении верхних горизонтов земной коры территории г. Москвы на глубину до 75 м (наибольшее заглубление Московского метрополитена) принимают участие отложения каменноугольной, юрской, меловой и четвертичной систем (рис. 2.2), которые, в свою очередь, могут быть представлены грунтами разных классов и разного литологического состава. Все эти грунты вовлечены в строительную деятельность, и именно из них формируются массивы насыпных техногенно перемещенных и отчасти техногенно образованных грунтов.

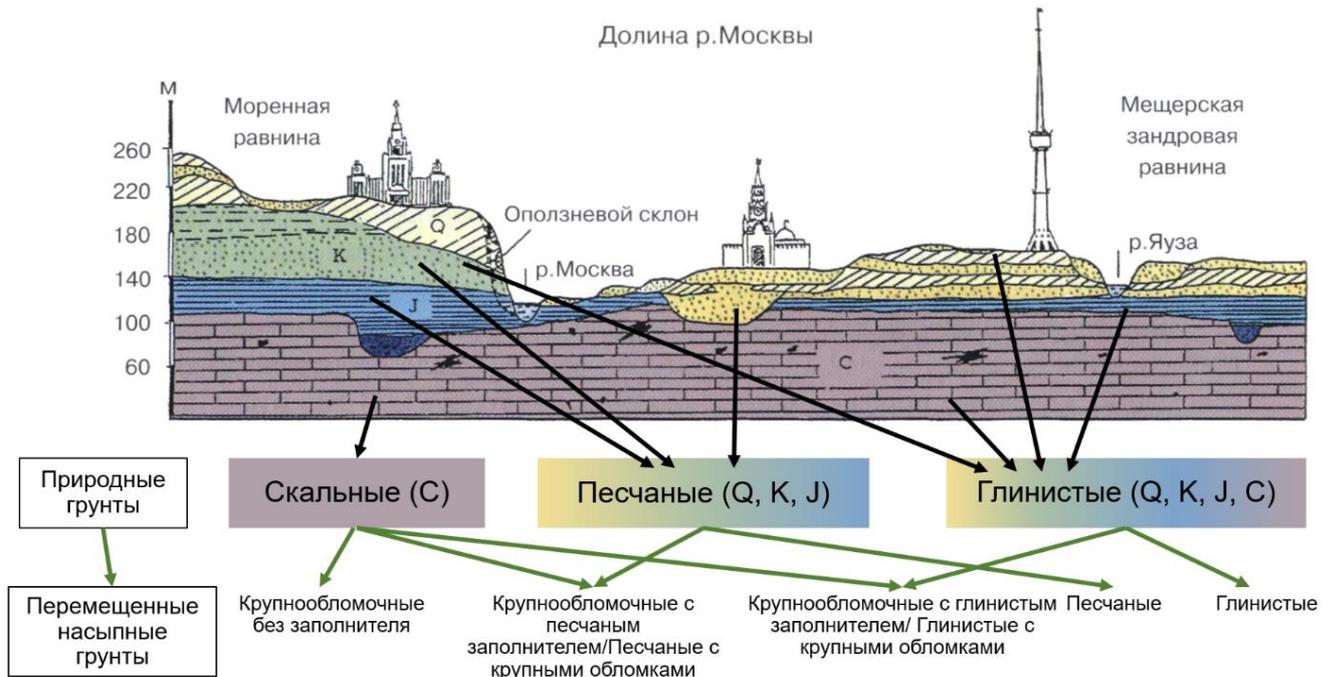


Рисунок 2.2. Схематический разрез верхней части земной коры территории г. Москвы и литологический состав техногенных отложений по [100] с изменениями автора

Также в качестве строительного материала для крупных автомобильных дорог, подушек под фундаменты и насыпных территорий используются песчаные и крупнообломочные грунты, добываемые из карьеров Московской области – четвертичные водно-ледниковые и аллювиальные и меловые отложения [157].

*Четвертичные отложения* представлены преимущественно моренными, разделяющими их межледниковыми и перекрывающим покровным горизонтами, аллювиальными отложениями в современных речных долинах. Дочетвертичные ложбины и долины заполнены древними аллювиально-флювиогляциальными отложениями. Локально развиты склоновые, болотные, овражные. Техногенные отложения, преимущественно насыпные, различного состава, происхождения и мощности распространены повсеместно. В среднем мощность чехла четвертичных отложений изменяется в пределах 15-30 м, достигая 50 м и более в районах развития погребенных палеодолин и конечных морен. Наименьшую мощность (до первых метров) четвертичные отложения имеют на Теплостанской возвышенности [16].

*Меловые отложения* распространены не повсеместно, размыты по долинам крупных рек, имеют мощность 15-50 м. Наиболее полный разрез меловых отложений представлен на Теплостанской возвышенности, где их мощность достигает 106 м. Представлены зелено-черными, серо-зелеными мелкими и пылеватыми песками и глинами полутвердыми, алевролитами, с прослоями песка и песчаника низкой прочности.

*Юрские отложения*, как и меловые, размыты по долинам рек Москва, Яуза, Десна, Незнайка, Пахра, Моча, представлены серо-зелеными мелкими песками, черно-зелеными и черными глинами от полутвердой до твердой консистенции, со следами аммонитов, детритом, конкрециями марказита. В толще глин встречается маркирующий слой водонасыщенного щебня фосфоритов с включениями белемнитов, мощностью 0,2-0,5 м. Мощность отложений различна, от первых метров до 15-20 м, местами может достигать 25-37 м.

Отложения *каменноугольной системы* в основном расположены на абсолютных отметках 60-130 м, достигая отметки 195 м на юге Новой Москвы, и представлены карбонатными породами подольского и мячковского горизонтов среднего карбона, терригенно-карбонатными породами кривякинского, хамовнического, дорогомилловского горизонтов касимовского яруса и породами гжельского яруса верхнего карбона [16]. Поверхность карбона сильно эродирована. На ней прослеживаются несколько крупных доюрских долин (Главная Московская, Рублевская, Ходынская, Измайловская ложбины), заполненных аллювиальными и ингрессивными морскими отложениями средней юры [149].

Гидрогеологические условия территории г. Москвы до глубины инженерно-хозяйственного освоения характеризуются наличием двух гидрогеологических этажей, разделенных юрским водоупором. Верхний этаж, мезокайнозойский, объединяет в своем составе «надюрские» водоносные горизонты и комплексы четвертичных и меловых образований, а нижний этаж, каменноугольный, сложен терригенно-карбонатными образованиями морского генезиса.

## **2.2. Описание основных объектов исследования**

Для выделения общих инженерно-геологических особенностей насыпных грунтов г. Москвы и составления их типизации были выбраны 95 участков, равномерно распределенных по территории города с учетом её освоенности. Объектами лабораторного исследования стали образцы, отобранные непосредственно автором на разных участках изысканий. Некоторые типы грунтов характеризовались по данным лабораторных и полевых исследований, проведенных в рамках инженерных изысканий, другие типы описывались по литературным [1, 10-11, 13, 24, 26, 28, 47, 50, 55, 57, 58, 65-67, 69-70, 72, 75, 76, 79, 84, 91, 106-107, 113, 127, 132, 135] и фондовым данным [149-154].

Карта расположения исследованных объектов и журнал в табличной форме приведены в Приложениях 1 и 2 соответственно. Изучение трансформации свойств техногенно перемещенных грунтов и определение значений влажности, плотности и физико-механических характеристик насыпных грунтов для типизации проводились на ключевых объектах, подробная характеристика которых приведена ниже.

В Приложении 3 приведены карты фактического материала и инженерно-геологические разрезы некоторых ключевых участков. Геологические индексы природных отложений приняты в соответствии с условными обозначениями к Геологическому атласу г. Москвы ГУП «Мосгоргеотрест» 2012 г. [149].

#### Участок 8 «Воробьевы Горы»

В геоморфологическом отношении исследуемая площадка расположена в правом борту долины р. Москвы на оползневом склоне. Насыпные грунты представлены переотложенными меловыми мелкими песками с крошкой и обломками кирпича, бетона, местами со щепой древесины, кусками проволоки, осколками стекла и суглинками с аналогичным составом включений. Подстилаются делювиальными и оползневыми четвертичными и нижнемеловыми отложениями. Возраст отсыпки грунтов различается в виду неоднократной и неравномерной перепланировки территории и достигает 70 лет. Мощность насыпных грунтов варьирует в пределах от 0,3 до 13,7 м, максимальна в месте засыпанного оврага, впадающего в р. Москву. Насыпь не обводнена.

#### Участок 16 «Москва Курская»

Железнодорожная насыпь Горьковского и Курского направлений на подъезде к Курскому вокзалу возведена путем послойной укладки дисперсных грунтов различной крупности. Также техногенными грунтами спланирована территория станционных путей и грузового двора.

В геоморфологическом отношении территория приурочена к Яузской равнине Центрально-Московской возвышенности. Насыпные грунты подстилаются комплексом аллювиальных и ледниковых отложений.

Толща техногенных образований представлена переслаиванием следующих литологических разностей (в скобках указана мощность слоев):

- щебенистый грунт (0,2-1,6 м);
- дресвяный грунт (0,2-6,1 м);
- пески мелкие влажные средней плотности, местами с примесью строительного мусора (1,5-3,1 м);
- пески средней крупности средней плотности маловлажные, влажные и водонасыщенные, местами с примесью строительного мусора (0,4-2,8 м);

- пески средней крупности рыхлые маловлажные, с примесью строительного мусора (1,3-1,7 м);
- пески крупные и гравелистые средней плотности с примесью строительного мусора (0,8-4,3 м);
- супеси твердые и пластичные, часто со строительным мусором (1,7-4,2 м);
- суглинки тугопластичные с прослоями полутвердых и мягкопластичных, часто со строительным мусором (1,9-9,9 м).

Общая мощность техногенных образований колеблется по площадке от 3,0 до 12,0 м.

Техногенные отложения неоднородны по составу и представлены перемещенными дисперсными грунтами различного генезиса. Щебенистые и дресвяные грунты являются продуктом дробления магматических пород.

Возведение насыпи началось в середине XIX в., в 1866 году было построено первое деревянное здание Курского вокзала, поэтому возраст насыпных грунтов принят около 150 лет. В процессе функционирования железнодорожной дороги пути и пассажирские платформы неоднократно реконструировались. Техногенными грунтами засыпан небольшой овраг, впадавший в заключенную на сегодняшний день в коллектор р. Черногрязку – правый приток р. Яузы.

Массив техногенных отложений характеризуется наличием подземных вод типа «верховодка». Глубина залегания «верховодки» колеблется от 0,8-0,9 до 8,0-10,0 м (абсолютные отметки 131,15-140,19 м). По химическому составу воды гидрокарбонатно-хлоридные кальциево-натриевые пресные умеренной жесткости (жесткость карбонатная) с минерализацией 523,64 мг/л.

#### Участок 35 «ул. Херсонская»

В геоморфологическом отношении участок расположен на Теплостанской возвышенности в долине р. Котловки. Поверхность земли обследуемой территории спланирована, естественный рельеф подвергся значительному техногенному воздействию: русло ручья заключено в подземный водосточный коллектор, долина ручья засыпана, к югу и юго-западу от изучаемой территории выполнено искусственное террасирование, при этом общее понижение рельефа сформировано к центру участка, выбранного для возведения жилого дома.

Площадка строительства многоэтажного жилого комплекса расположена на заключенном в коллектор и засыпанном в период с 2006 по 2007 гг. ручье, впадающем в р. Котловку (рис. 2.3). При этом сведения о специально проводившихся работах по уплотнению техногенных грунтов и планомерном возведении насыпи отсутствуют, т.е. отсыпка производилась стихийным образом. При производстве работ закономерностей напластований в техногенном слое выявлено не было

– насыпная толща является результатом произвольной отсыпки долины ручья перемещенным грунтом и строительным мусором.



Рисунок 2.3. Изменение облика поверхности на участке 35 «ул. Херсонская»:  
а – 2000 г.; б – 2007 г. (Google Earth Pro)

Насыпные грунты представлены суглинками буро-коричневыми, коричневыми, серыми, черными, тугопластичной, полутвердой и, реже, мягкопластичной консистенции, с линзами и прослоями песков, с включениями боя кирпича и бетона, осколками стекла, кусками резины, фрагментами металлоконструкций, влажные, по отдельным прослоям насыщенные водой. В отдельных прослоях встречаются примеси органического вещества, изредка встречаются скопления строительного мусора мощностью до 1,0 м. В одной скважине в интервалах глубин 8,0-17,0 м было вскрыто скопление обломков бетона с прослоями глин и песков.

Мощность насыпных грунтов на участке составляет 1,8-18,7 м, залегают на ледниковых и водно-ледниковых четвертичных отложениях, подстилаемых нижнемеловыми. При выполнении работ по сооружению водосточного коллектора аллювиальные отложения ручья, по-видимому, были удалены или подверглись значительному замусориванию. Возраст насыпи – 9 лет.

Массив техногенных отложений характеризуется наличием подземных вод типа «верховодка». Глубина залегания «верховодки» колеблется от 0,8-0,9 до 8,0-10,0 м (абсолютные отметки 131,15-140,19 м). По химическому составу воды гидрокарбонатно-хлоридные кальциево-натриевые пресные умеренной жесткости (жесткость карбонатная) с минерализацией 523,64 мг/л.

Подземные воды типа «верховодка» встречены на глубине 0,6-8,6 м (абс. отм. 182,75-190,35 м) и приурочены к насыпным грунтам. При этом наибольшее распространение воды «верховодки» имеют в центральной части территории, что обусловлено чашеобразным типом рельефа площадки. По солевому составу грунтовые воды типа «верховодка» хлоридно-гидрокарбонатные, натриево-кальциевые, хлоридно-гидрокарбонатные, магниевикальциевые и хлоридно-гидрокарбонатные, кальциево-натриевые весьма слабосоленые, очень жесткие (жесткость карбонатная) с минерализацией 856,53-952,09 мг/л.

#### Участок 36 «дублер Кутузовского проспекта»

Вблизи Киевского вокзала (рис. 2.4) насыпные грунты представлены грунтами золоотвала ТЭЦ №12 – собственно золами. Фрунзенская ТЭЦ введена в эксплуатацию в 1941 г. С помощью вагонеток зола перемещалась в отвал [165], площадь которого достигла около 120 тыс. м<sup>2</sup> (красный контур), а мощность отсыпанных продуктов сжигания составляет 4-20 м. Отвал действовал до начала 1970-х, пока в непосредственной близости от него, но уже на высокой пойме р. Сетунь не был организован традиционный гидрозолоотвал (синий контур).

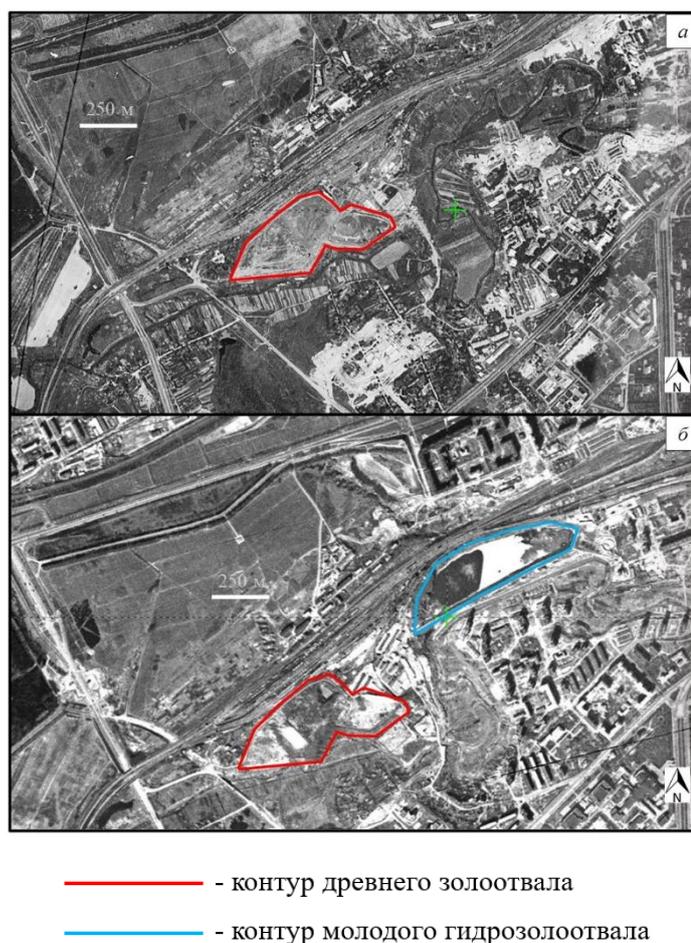


Рисунок 2.4. Расположение золоотвалов на участке 36 (Retromap)

На данный момент во избежание пыления территория золоотвала перекрыта переотложенными природными грунтами мощностью до 20 м – песками средней крупности с прослоями гравелистых и суглинками полутвердыми с щебнем. Сами золы представляют собой черные пески пылеватые с включениями комков суглинков и супесей пылеватый материал в керне скважин встречаются единичные обломки кирпича и бетона (рис. 2.5).

По территории проходит проспект Генерала Дорохова, а основная часть застроена гаражами и производственными помещениями. Возраст насыпных грунтов варьирует от 65 (золы в основании золоотвала) до 10 лет (перекрывающие грунты на дневной поверхности). Техногенные отложения подстилаются суглинками московского оледенения. На территории размещения «сухого» золоотвала подземные воды не вскрыты.



Рисунок 2.5. Керн скважины 75Д, расположенной в юго-восточной части золоотвала, в интервале глубин 6-10 м (фото К.А. Дарменко)

## Участок 37 «Территория МГУ»

Участок расположен в Западном административном округе в районе Раменки на Теплостанской возвышенности. Одним из важных геоморфологических элементов является р. Онучин овраг, в верховьях которого непосредственно расположена площадка изысканий, что оказывает значительное влияние на инженерно-геологические условия. Овражная сеть в верховьях р. Онучин овраг отсыпана техногенными грунтами. В связи с этим мощность их в пределах площадки достигает 12 м (рис. 2.6 и 2.7), а возраст – 35-57 лет.



Рисунок 2.6. Площадка строительства на участке 39 (фото автора)



Рисунок 2.7. Слой раздробленных известняков в стенке котлована на участке 39 (фото автора)

На данном участке техногенные грунты, подстилаемые покровными глинами и отложениями ледникового комплекса, представлены (в скобках указана мощность слоев):

- суглинками и глинами черными, темно-коричневыми, серо-коричневыми, коричневыми и темно-серыми, карбонатными, перемешанными с крошкой и обломками кирпича, известняка и бетона (~5-25%), песком, гравием и щебнем, осколками стекла и плитки, кусками пластмассы и полиэтилена, обломками металла, обломками и щепой древесины, корнями растений, слежавшимися, влажными (1,2-5,5 м);

- песками разнозернистыми, перемешанными с комьями глины, крошкой и обломками кирпича, гравием, осколками стекла, обломками металла, щепой древесины, слежавшимися, влажными (0,4-2,6 м);

- глинами красно-коричневыми, местами светло-серыми, мергелистыми, перемешанными с крошкой и обломками известняка (~10-35%), с песком, слежавшимися, влажными (2,2-6,7 м);

- известняками светло-серыми, разрушенными до щебня (~25-30%), дресвы (~25-40%) и муки (~30-40%), с прослоями красно-коричневой глины (~5-20%), слежавшимися, влажными (0,5-6,0 м).

На момент осуществления буровых работ подземные воды типа «верховодка» в толще техногенных отложений не были выявлены. Подземные воды надъяурского водоносного горизонта вскрыты на глубине 24,8-28,2 м (абс. отм. 160,39-164,45 м).

#### Участок 38 «Новопеределкино»

Полигон приема строительных отходов «Новопеределкино» расположен в Западном автономном округе, в районе Ново-Переделкино (рис. 2.8). Активное накопление грунтов массива происходило в начале 2000-х гг., после чего полигон был рекультивирован и приспособлен под горнолыжный склон. Возобновление складирования грунтов произошло в 2017 г. с началом строительства южного продолжения Калининский и Сокольнической веток. При отсутствии необходимости глубокого заложения тоннелей проходка велась открытым способом, поэтому в отвал поступали преимущественно четвертичные отложения.

Насыпь расположена на Теплостанской возвышенности и представлена глинами и суглинками, с прослоями песка, с обломками кирпича, бетона, известняка, щепой древесины, остатками металлического лома, с остатками корней растений, несслежавшаяся и слежавшаяся, влажная, местами водонасыщенная. Местами в насыпи встречаются бетонные плиты, крупные обломки древесины и металлического лома. На момент изысканий насыпь имеет возраст всего 2 года.

Мощность массива достигает 41,5 м. В толще техногенных отложений на глубине 3,7-21,0 м (абс. отм. 182,75-199,88 м) вскрыты подземные воды типа «верховодка» в виде

водопроявлений, приуроченных к проницаемым песчаным прослоям в переотложенных суглинках. Водоносный горизонт типа «верховодки» вскрыт. По химическому составу воды преимущественно сульфатно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые, весьма слабосоленоватые, очень жесткие (жесткость карбонатная) с минерализацией 1034,20 мг/л.



Рисунок 2.8. Пестрый состав отложений на участке 38 «Новопеределкино» (фото автора)

#### Участок 39 «Полигон ТКО Некрасовка»

Полигон расположен в Юго-Восточном административном округе г. Москвы, в районе Некрасовка на III надпойменной террасы р. Москвы. Формирование массива насыпных грунтов началось задолго до 2000-х гг. на месте нескольких карт бывших полей аэрации (рис. 2.9 а), которые были засыпаны бытовым и строительным мусором (рис. 2.9 б). Позже на полигон перемещались строительные грунты, иловые осадки сточных вод и подстилающие их заиленные грунты с Люберецких полей аэрации. Возраст отвала составляет около 25 лет.

В 2015 г. с целью разработки проекта рекультивации на полигоне проводились инженерные изыскания, в ходе которых скважинами были вскрыты следующие насыпные грунты, подстилаемые верхнечетвертичными аллювиальными водонасыщенными песками (в скобках указана мощность слоев):

- субстраты дамб иловых карт, песчано-глинистого состава, уплотненные (0,3-3,5 м);
- техногенные переотложенные песчано-глинистые иловатые грунты (0,4-2,2 м);
- строительные отходы с песчано-глинистым заполнителем с обломками кирпичной кладки, бетона, асфальта до 40%, влажные (0,5-36,3 м);
- противодиффузионный экран, юрские глины, четвертичные моренные суглинки (3,1-5,8 м);

- бытовые отходы, слабо разложившиеся, необводненные, с прослоями суглинков тугопластичных (0,6-3,4 м);

- бытовые отходы, слабо разложившиеся, обводненные, с прослоями суглинков тугопластичных с сильным запахом (0,4-6,4 м).

К 2019 г. были завершены работы по рекультивации полигона (рис. 2.9 в, 2.10). Общая мощность насыпных грунтов достигает 43 м, объем бытовых и строительных отходов, в т.ч. строительных грунтов составляет 5 920 000 м<sup>3</sup>.

На момент проведения буровых работ отмечены 3 уровня подземных вод типа «верховодка», приуроченных к разным водопроницаемым слоям полигона ТКО. Воды нижней «верховодки» вскрыты в интервалах глубин 2,9-40,4 м (абс. отм. 136,27-127,34 м).



Рисунок 2.9. Формирование массива полигона ТКО «Некрасовка»: а – 2003 г.; б – 2007 г.; в – 2019 г. (Google Earth Pro)



Рисунок 2.10. Полигон ТКО «Некрасовка» в процессе рекультивации, 2019 г. (фото Н. Градюшко)

#### Участок 41. Полигон приема строительных грунтов «Сосенки»

Участок расположен в г. Москве на территории поселения Сосенское, вблизи д. Зименки, на расстоянии около семи километров от МКАД на юго-запад. Массив был изучен в рамках строительства всесезонного спортивного комплекса. В 2003 г. на месте свалки бытовых и строительных отходов началось формирование отвала строительных отходов. В 2011-2012 гг. были уложены геотекстильные материалы, возможно, для укрепления массива и предотвращения его оползания. С 2018 г. полигон начал принимать техногенно переотложенные грунты, извлекаемые из строящихся вблизи Калининской и Солнцевской линий метрополитена (рис. 2.11). Поскольку тоннели этих веток были спроектированы с неглубоким заложением, в отвал поступали преимущественно суглинки ледникового генезиса.

В геоморфологическом отношении участок расположен на Теплостанской возвышенности. В геологическом строении участка до глубины бурения 40,0 м принимают участие современные техногенные ( $tQ_{IV}$ ), среднечетвертичные водно-ледниковые ( $fQ_{II}$ ) и моренные отложения ( $gQ_{II}$ ).

*Техногенные отложения ( $tQ_{IV}$ )* залегают повсеместно с поверхности до глубины 14,0-40,0 м и представлены преимущественно суглинками и глинами от твердой до мягкопластичной консистенции, локально встречены супеси и глины текучие, а также пески средней крупности. Встречаются строительно-бытовой мусор (щебнистые грунты) и фрагменты конструкций из монолитного бетона и железобетона. Местами подошва насыпной толщи скважинами не вскрыта.

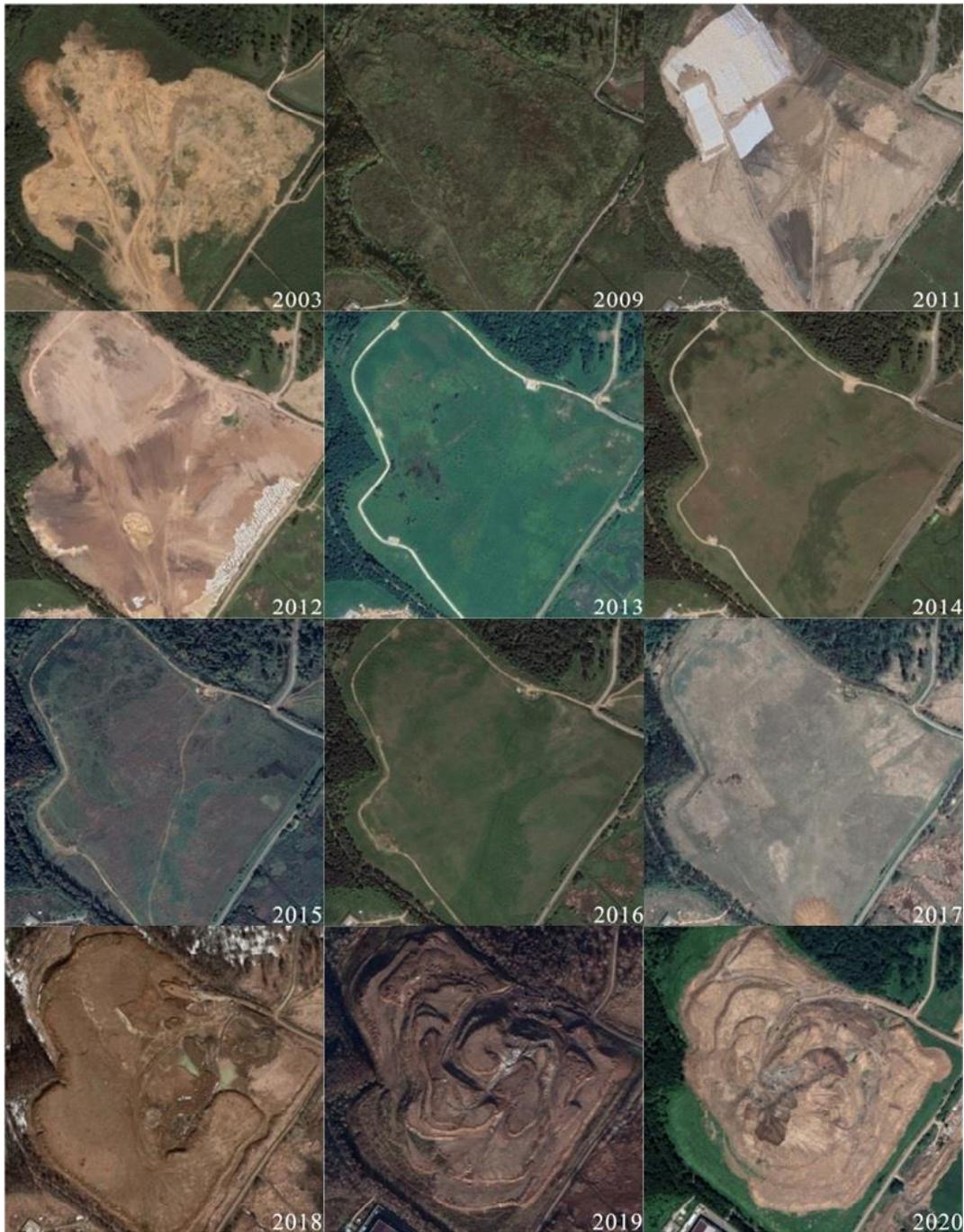


Рисунок 2.11. Процесс отсыпки полигона приема строительных отходов «Сосенки» (Google Earth) (снимки собраны Е.А. Савинковой)

Подземные воды вскрыты на различных глубинах от 0,3 до 33,8 м (абс. отм. 155,84-206,63 м). Воды насыщают песчаные и крупнообломочные прослои и трещины в глинистых грунтах. Местами подземные воды обладают локальным напором до 18,3 м. В одной из скважин зафиксирован самоизлив воды на поверхность.

По результатам химического анализа подземные воды сульфатно-хлоридные и гидрокарбонатные, натриево- и магниевые-кальциевые и кальциевые-натриевые от умеренно до очень жестких, от пресных до слабосоленоватых с минерализацией 581,23-1858,45 мг/л.

## Участок 63 «р-н Некрасовка»

Использование Люберецких полей аэрации, располагавшихся на юго-востоке современной Москвы, происходило вплоть до введения в эксплуатацию Люберецкой станции аэрации в 1963 г. На территории существовали иловые площадки, выполненные в виде сетки дамб, между которыми располагались отстойники, заполненные иловыми осадками сточных вод [132].

В 2017 г. территория подверглась рекультивации: осадки сточных вод из карт, а также заиленные подстилающие грунты были захоронены на расположенном вблизи полигоне ТКО «Некрасовка» (см. участок 39). Взамен извлеченных грунтов, а также для перекрытия оставшихся, уже в меньшей степени заиленных природных грунтов, выемка которых была нецелесообразной, под целый квартал была уложена равномерная насыпь (рис. 2.12).



Рисунок 2.12. Изменение облика поверхности на участке 63 «р-н Некрасовка»: а – 2003 г.; б – 2017 г.; в – 2020 г. (Google Earth Pro)

Отсыпка территории производилась мелкими, крупными и гравелистыми четвертичными флювиогляциальными песками с послойным уплотнением катками до заданного коэффициента уплотнения  $k_{com}=0,95-0,98$  (рис. 2.13). Практически сразу после возведения насыпи были проведены инженерно-геологические изыскания. Вскрытая скважинами мощность насыпных грунтов составила 3,0-6,0 м. Грунты несслежавшиеся, преимущественно пески мелкие, средней плотности, с прослоями рыхлых, влажные, с прослоями супесей и суглинков. Данная территория расположена на Яузской равнине, поэтому насыпные грунты подстилаются верхнечетвертичными аллювиальными песками от пылеватых до средней крупности, влажными и водонасыщенными, в верхней части слоя заиленными. На момент проведения инженерно-геологических изысканий возраст насыпи составлял менее 1 года, площадь – 0,34 км<sup>2</sup>. В теле насыпи на глубинах 2,9-4,4 м (абс. отм. 128,30-129,00 м) вскрыты подземные воды типа «верховодка», обусловленные наличием слабофильтрующих глинистых прослоев.



Рисунок 2.13. Насыпные грунты на участке 63 (фото ООО «РЭИ-Регион», 2017 г.)

#### Участок 66 «Москва-Сити»

В геоморфологическом отношении участок изысканий расположен в пределах высокой поймы р. Москва. Территория спланирована переотложенными аллювиальными голоценовыми песками. Насыпные грунты, повсеместно перекрывающие участок изысканий, неоднородны по составу, характеру и количеству включений и представлены песком серо-коричневым, средней крупности, средней плотности, влажными, с включениями свыше 15% дресвы, остатков древесины и строительного мусора. Возраст насыпи около 50 лет. Техногенные отложения имеют небольшую и выдержанную мощность 1,4-3,4 м и подстилаются аллювиальными песками и суглинками. Подземные воды типа «верховодка» вскрыты на глубинах 3,6-3,8 м (абс. отм. 126,30 м) и не затрагивают массив насыпных грунтов.

#### Участок 74 «Мосэлектрофольга»

В 1913 г. в Южном административном округе г. Москвы был основан Московский медеплавильный и медеэлектролитный завод (рис. 2.14), позже получивший имя В.М. Молотова. Завод действует по сегодняшний день под названием «Мосэлектрофольга». В 1985 г. на территории началась масштабная реконструкция, которая вызвала необходимость проведения инженерно-геологических изысканий.

В геоморфологическом отношении площадка расположена на Теплостанской возвышенности. По данным бурения мощность техногенных отложений составила от 0,6 до 23,3 м. Насыпными грунтами заполнены овраги и ручей, впадающие в р. Котловку, и выполнен уступ над рекой. Залегающие на дне оврагов шлаки и золы свидетельствуют о том, что накопление техногенных грунтов происходило по мере функционирования завода, т.е. возраст нижних слоев насыпи может достигать 110 лет. На сегодняшний день искусственно отсыпанный правый берег р. Котловки служит популярным горнолыжным склоном.

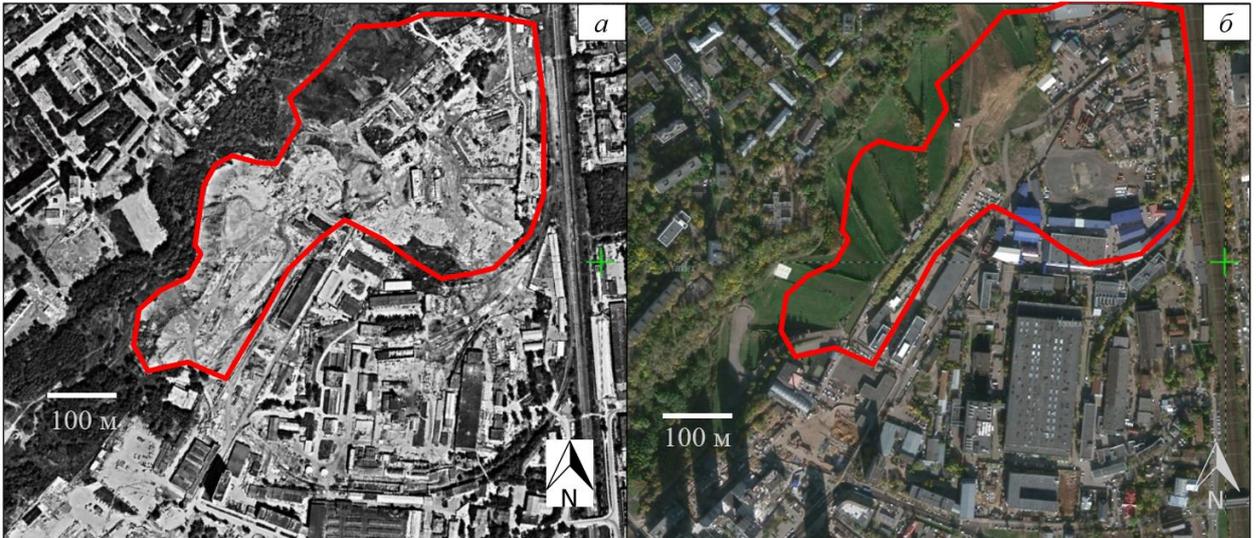


Рисунок 2.14. Территория Московского медеплавильного и медеэлектролитного завода:  
а – 1980 г. (Retromap), б – 2021 г. (Google Earth Pro)

Насыпные грунты представлены:

- суглинками и глинами серовато-коричневыми тугопластичными с щебнем известняка и мергеля, с прослоями песков мелких водонасыщенных, с щебнем и щепой древесины среднеуплотненными (1,8-14,0 м);
- шлаком черным с редким щебнем, влажным (1,3-12,6 м);
- песком буро-серым средней крупности, с щебнем кирпича, влажным, в некоторых скважинах с глубины 9,0-10,5 м водонасыщенным (1,8-3,5 м);
- угольной золой темно-коричневой и черной, среднеуплотненной, водонасыщенной и влажной (0,2-3,7 м);
- древесными опилками с прослоями глины пылеватой, с щебнем, бутовым камнем, обломками древесины (до 3,0 м);
- кусками мергеля, известняка, кирпича, с примесью песка и суглинка (2,9-4,4 м).

Рядом скважин на глубинах 0,5-16,0 м (абс. отм. 141,55-159,02 м) был вскрыт техногенный водоносный горизонт типа «верховодка». По результатам химического анализа подземные воды сульфатные натриево-кальциевые жесткие пресные с минерализацией 967,12 мг/л.

#### Участок 88 «Дороги в пос. Мосрентген»

В связи со строительством комплекса складов «Фуд Сити» с 2011 г. территория массово отсыпалась местными глинистыми грунтами. Переотложенными моренными суглинками были сформированы тела насыпей автомобильных дорог, засыпаны р. Сосенка и впадающие в неё овраги. Участок расположен на Теплостанской возвышенности в долине р. Сосенки. Насыпные грунты мощностью 1,8-8,5 м представлены суглинками тугопластичными, с прослоями песков, с включениями от 10 до 20% строительного мусора, на момент изыскания имеют возраст 9 лет.

Подземные воды типа «верховодка» распространены локально на глубине 2,0 м (абс. отм. 191,56 м) и приурочены к прослоям песков в толще суглинков.

### 2.3. Выводы к главе 2

1. В геологическом строении верхних горизонтов земной коры территории г. Москвы до глубины 75 м принимают участие отложения каменноугольной, юрской, меловой и четвертичной систем, представленные грунтами различных классов и подклассов: скальными, дисперсными связными и дисперсными несвязными, – все эти разности служат исходным материалом для формирования массивов техногенно перемещенных и отчасти техногенно образованных насыпных грунтов.

2. Представленные в диссертационной работе результаты базируются на исследовании 95 участков, равномерно распределенных по территории г. Москвы. Малое количество объектов на территории ТиНАО обусловлено низкой техногенной нагрузкой и, соответственно, меньшими и более локализованными объемами насыпных грунтов.

3. Выбранные объекты имеют разный возраст, состав, строение и происхождение, отсыпаны с разной целью и подверглись различному постгенетическому преобразованию, что позволяет составить исчерпывающую типизацию насыпных грунтов г. Москвы и в полной мере оценить их инженерно-геологические особенности.

4. Среди объектов исследования преобладают техногенные грунты, отсыпанные в ходе осуществления целенаправленной инженерно-строительной деятельности – планировки территории, засыпки оврагов, возведении дорожных и железнодорожных насыпей и др. Рассмотрены и побочные продукты данного вида деятельности – грунты несанкционированных строительных отвалов и грунты полигонов приема строительных отходов. Объектами исследования также стали насыпные грунты, ставшие результатом хозяйственно-бытовой (грунты полигонов ТКО) и промышленной деятельности (золы сухого удаления и металлургические шлаки).

5. Для техногенно переотложенных насыпных грунтов в большинстве случаев исходным природным материалом служат четвертичные отложения ледникового и аллювиального генезиса, реже встречаются переотложенные меловые пески, юрские глины и каменноугольные известняки и глины.

6. Возраст насыпных грунтов на исследуемых участках на момент проведения инженерно-геологических изысканий достигает 300-500 лет, но преимущественно составляет 30-70 лет. В отдельных случаях были изучены свежесыпанные грунты, возраст которых не превышал 5 лет. При этом во всех отчетах по инженерно-геологическим изысканиям исследуемые грунты обозначены как слежавшиеся.

### Глава 3. Методика решения поставленных задач<sup>2</sup>

«Методика эксперимента – совокупность мыслительных и физических операций, размещенных в определенной последовательности, в соответствии с которой достигается цель исследования или эксперимента» [64, с. 129].

Задачи, поставленные в данной работе для достижения цели, решались в соответствии с общей методологической схемой (рис. 3.1). Предварительный этап заключался в сборе и анализе опубликованной и фондовой литературы на тему геологического строения территории г. Москвы и оценки степени изученности насыпных грунтов, условий формирования их состава, строения и свойств. По результатам обзора опубликованных материалов по насыпным грунтам г. Москвы была составлена их предварительная типизация.

На протяжении всего исследования производился сбор архивных материалов инженерно-геологических изысканий, которые использовались для составления и корректировки типизации, описания выделенных типов и оценки показателей их физических и физико-механических характеристик.

На этапе полевых работ производился сбор фактологического материала по распространению, составу, строению и свойствам насыпных грунтов, оценке их возраста. На площадках инженерно-геологических изысканий отбирались образцы грунтов для последующего лабораторного исследования, описывались инженерно-геологические условия территории, производилась характеристика инженерно-геологических процессов, связанных с массивами насыпных грунтов. На этапе лабораторных исследований проводилось определение показателей состава, строения и физических, физико-химических и физико-механических свойств грунтов.

Окончательный этап заключался в обработке, сравнительном анализе и обобщении полученных данных, включавшем в себя определение закономерностей формирования свойств техногенно переотложенных насыпных грунтов, типизацию насыпных грунтов территории г. Москвы и разработку методики картирования техногенных отложений при содействии сотрудников ГБУ «Мосгоргеотрест».

---

<sup>2</sup> При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

1. **Абакумова, Н. В.** Типизация насыпных грунтов Московской агломерации / **Н. В. Абакумова** // Инженерная геология. – 2022. – Т. 17. – № 2. – С. 6-26. Импакт-фактор РИНЦ 2022: 0,256. Объем публикации: 1,7 п.л., объем вклада соискателя: 1,7 п.л.

2. Жидков, Р. Ю. Применение комплексного ретроспективного анализа при определении конфигурации массивов техногенных грунтов на примере г. Москвы / Р. Ю. Жидков, **Н. В. Абакумова**, В. С. Рекун // Инженерная геология. – 2023. – Т. 18. – № 1. – С. 18-34. Импакт-фактор РИНЦ 2022: 0,256. Объем публикации: 1,4 п.л., объем вклада соискателя: 0,6 п.л.

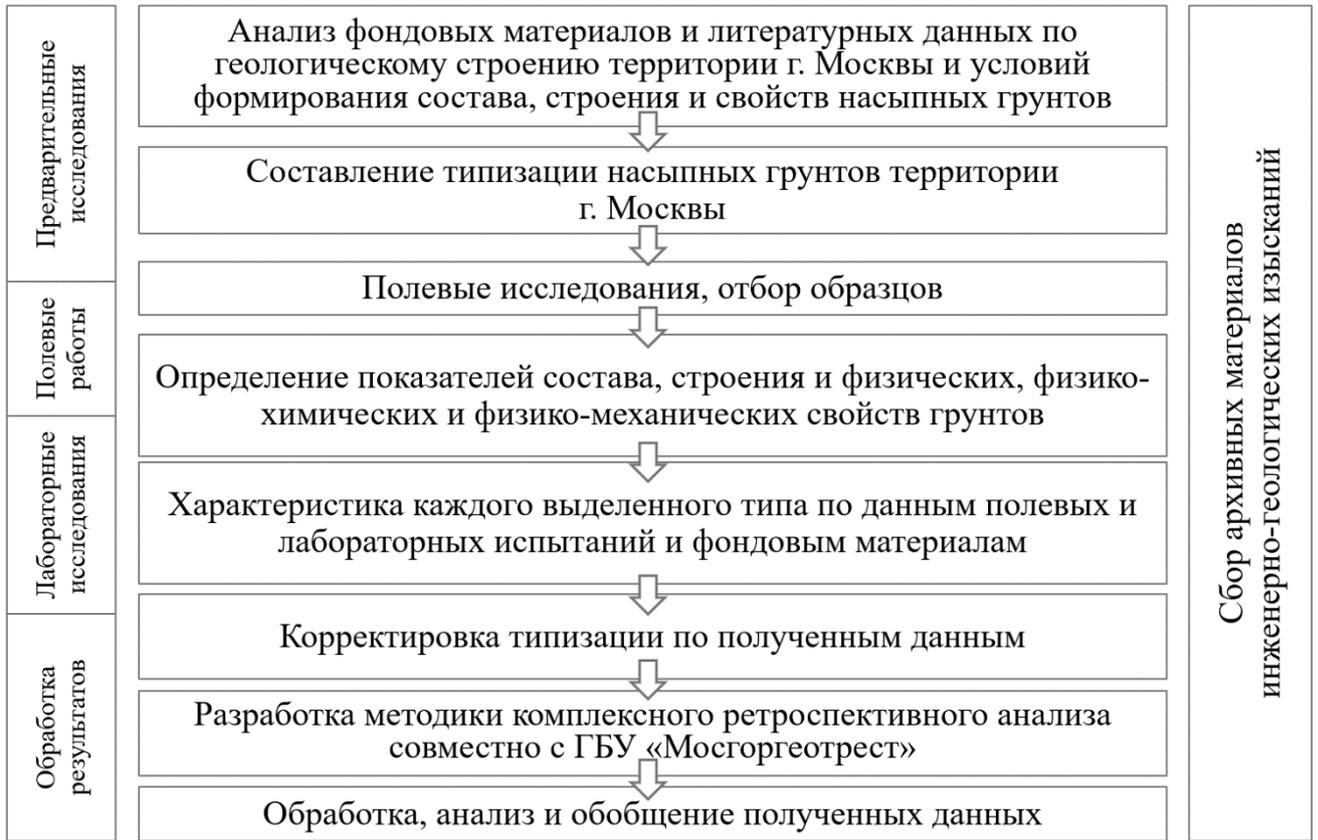


Рисунок 3.1. Общая методологическая схема решения поставленных задач

Таким образом, исследование проводилось дедуктивным методом – от общих представлений о насыпных грунтах городских территорий, основанных на аналитическом обзоре литературы, к частным случаям из практики инженерно-геологических изысканий.

### 3.1. Принципы составления типизации насыпных грунтов территории города Москвы

Одним из методов познания в инженерной геологии является классифицирование и типизация. Оно позволяет не только систематизировать накопленные знания, но и получить новые. Составление схем и таблиц помогает исследователям найти корреляционные связи и заполнить «белые пятна» недостающими данными, помогает спрогнозировать развитие классифицируемых систем и охарактеризовать структуру еще не исследованных аналогичных объектов.

«Классификация – система упорядоченных, соподчиненных понятий, представляемая в виде таблиц (схем) и составленная на основе определенных признаков. Процесс классифицирования – разновидность анализа, под которым понимают деление объема понятия» [63, с. 145].

«Типизация (= типизирование) – отнесение объекта к определенному выделенному классификационному типу» [64, с. 158].

Инженерно-геологическая типизация должна осуществляться последовательно [63, с. 145]:

- 1) «определение границ объекта исследований;
- 2) изучение объекта;
- 3) выбор признаков типизации;
- 4) выбор степени их неразличимости (шаг деления признака);
- 5) иерархическое подразделение признаков (выстраивание в ряд по степени значимости);
- 6) деление объекта по принятым признакам;
- 7) построение схемы типизации».

Построение любой типизации или классификации, как дедуктивным, так и индуктивным методами должно соответствовать законам логики:

1. соразмерное деление объекта – объем делимого должен быть равен сумме выделяемых частей;
2. деление объекта на каждом уровне должно проводиться по одному существенному признаку;
3. члены деления должны исключать друг друга;
4. деление объекта должно быть непрерывным [63].

В грунтоведении грунт рассматривается как многокомпонентная динамическая система, где все компоненты и их соотношение определяют характеристики всей системы в целом. Происхождение, постгенетическое преобразование, и, как следствие, различные соотношения и состав компонентов приводят к значительному разнообразию грунтов и слагаемых ими грунтовых толщ.

Традиционно в грунтоведении техногенные грунты делятся на техногенно измененные, техногенно образованные и техногенно перемещенные, которые могут быть как намывными, так и насыпными [18, 97]. Собственно насыпные грунты могут быть как техногенно образованными, так и техногенно перемещенными разностями, и на территории городов распространены практически повсеместно.

Согласно основному закону грунтоведения формирование состава, строения, состояния и свойств грунтов определяется их генезисом, характером постгенетических преобразований и пространственным положением [125]. В случае с техногенными грунтами главенствующую роль играют технологии образования грунтов и способы создания массивов [4]. На формирование свойств насыпных грунтов также влияют состав исходных грунтов или исходного искусственного материала, назначение, давность отсыпки и др. [10, 27, 29, 128]. Сочетание этих факторов определяет способность грунта в составе насыпи стать надежным основанием или

опасным для окружающей среды объектом.

В соответствии с описанными выше правилами классифицирования насыпные грунты должны непрерывно делиться на таксоны по одному существенному признаку, а не сразу по нескольким, что часто встречалось в опубликованных классификациях. Основой для построения типизации послужили разработки Ф.В. Котлова [66], А.П. Афолина и др. [18], Е.Н. Огородниковой и С.К. Николаевой [97], М.А. Викторовой [25]. Предлагается следующая последовательность деления.

**Группы** – признаком для выделения групп насыпных грунтов предлагается их генезис по виду деятельности. Основным источником техногенных грунтов служит инженерно-строительная деятельность, при этом хозяйственно-бытовая деятельность и промышленное производство не менее важны. Стоит также выделить в отдельную группу грунты, сформированные в ходе последовательного или одновременного осуществления разных видов деятельности. Для более удобного восприятия типизации грунты разделены по группам на *инженерно-строительные, хозяйственно-бытовые (коммунальные), промышленные и смешанного генезиса.*

**Подгруппы** целесообразно разделять по способу образования грунтов – путем укладки или стихийной отсыпки. В пределах одной группы грунты могут отсыпаться как целенаправленно с соблюдением проектных требований (отсыпки с последующим уплотнением, укладки), так и стихийно, если это, например, грунты строительных отвалов. В этих двух случаях грунты будут иметь значения показателей физических и физико-механических свойств, различающиеся в разной степени за счет уплотнения в первом случае и неизбежной неоднородной пустотности при хаотичной отсыпке во втором.

**Типы** насыпных грунтов (центральный и самый важный таксон) следует выделять непосредственно по результату хозяйственной деятельности в виде переотложенного или образованного грунта, формирующего насыпной массив или его часть. Каждый из выделенных типов подробно описан ниже. Впервые выделены и описаны типы «Полигоны приема строительных отходов» и «Грунты строительных насыпей с примесью зол и золошлаков» и «Грунты отвалов строительных, бытовых и промышленных отходов».

Насыпные грунты могут иметь *локальное* распространение, если они сосредоточены в пределах одного здания или группы сооружений, *площадное*, если насыпь выходит за пределы микрорайона, а её площадь существенно превышает мощность отложений, и *линейное*, если длина насыпи существенно превышает ширину.

**Виды** предлагается выделять по литологическому составу грунтов – крупнообломочные, песчаные, глинистые, а также песчаные и глинистые с крупнообломочными включениями.

**Разновидности**, как в большинстве инженерно-геологических классификаций природных грунтов, традиционно выделяются по количественным показателям состава, строения, состояния и свойств грунтов в соответствии с ГОСТ 25100-2020 «Грунты. Классификация» [35], ГОСТ 23740-2016 «Грунты. Методы определения содержания органических веществ» [33], ГОСТ 25584-2016 «Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации» [38], ГОСТ Р 56353-2022 «Грунты. Методы лабораторного определения динамических свойств дисперсных грунтов» [40], СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ» [120], СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ - 99/2010)» [114].

### **3.2. Методы и методики изучения состава, строения и свойств исследуемых техногенных грунтов**

Изучение состава, строения и свойств насыпных техногенных грунтов проводилось с помощью традиционных лабораторных методов на кафедре инженерной и экологической геологии. Часть экспериментов выполнена при участии студентов геологического факультета Н.П. Камышановой и Е.А. Савинковой.

*Минеральный состав* был изучен при помощи рентгеновского дифрактометра Ultima-IV фирмы Rigaku (Япония) путем рентгенодифракционного фазового анализа, сотрудниками кафедры инженерной и экологической геологии: пробоподготовка и съемка – вед. инж. С.А. Гараниной, анализ и расчет – ст.н.с., к.г.-м.н. В.В. Крупской [71]. Рентгеновский дифрактометр ULTIMA-IV приобретен за счет средств Программы развития Московского университета имени М.В. Ломоносова.

Содержание *карбонатов* определялось с помощью кальциметра по методике И.Ф. Голубева [31]. Определение химических элементов в составе *водных вытяжек* образцов производилось весовым, объемным и расчетным методами [98]. Содержание *органического углерода* определялось по методу Тюрина в модификации ЦИНАО [74].

*Гранулометрический состав* образцов, содержащих большое количество пылеватых и глинистых частиц, определялся пипеточным методом. Подготовка грунтов проводилась по методике П.Ф. Мельникова путем растирания с раствором пирофосфата натрия [74].

Образцы, которые содержали большее количество песчаных фракций, исследовались ситовым методом. Подготовка образцов проводилась по методу П.А. Земятченского (кипячение с раствором аммиака в течение 2-х часов) [74]. Ситовой гранулометрический анализ данных образцов из-за высокого содержания пылеватых и глинистых частиц был дополнен пипеточным анализом.

*Изучение микростроения* исследуемых образцов проводилось с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) LEO 1450 VP, оснащенного энергодисперсионным спектрометром INCA 300. Подготовка образцов происходила путем тщательного высушивания и помещения на клейкую ленту: на кусок двустороннего скотча насыпалась горсть золы и сдувалась, после чего на скотче тонким слоем оставались прилипшие частицы золы.

*Плотность твердого компонента* образцов определялась пикнометрическим методом с дистиллированной водой [74]. Наибольшая точность была достигнута при вакуумировании пикнометров с грунтом и водой в течение суток и полной просушкой пикнометров перед определением массы воды без грунта [74].

*Минимальная и максимальная плотности скелета* песчаных разностей грунтов в воздушно-сухом состоянии были получены методом определения плотности в рыхлом и плотном сложениях. Объем грунта при опыте оставался неизменным и равным объему стакана, куда грунт засыпался, а изменялась только плотность сложения образца, что сказывалось на массе, которая определялась прямым взвешиванием [74].

Плотность грунта в естественном сложении была получена методом режущего кольца при подготовке образцов к компрессионным испытаниям в лаборатории и при отборе образцов в полевых условиях. Плотность связных грунтов определялась методом гидростатического взвешивания с использованием парафина [74].

*Естественная и гигроскопическая влажности* образцов были определены весовым методом.

Влажность «максимальной молекулярной влагоемкости» определялась методом влагоемких сред (по А.Ф. Лебедеву) в модификации А.М. Васильева [74].

*Влажность предела текучести* определялась по методу А.М. Васильева с помощью балансирного конуса [74]. Определение было затруднено по причине склонности некоторых грунтов к разжижению.

*Влажность нижнего предела пластичности* определялась методом раскатывания грунтов в шнур [74]. *Деформационные свойства* некоторых образцов насыпных грунтов в естественном сложении изучались с помощью компрессионного прибора автоматизированного испытательного комплекса АСИС компании «Геотек», предназначенного для проведения механических испытаний природных грунтов и промышленных строительных материалов при различных видах напряженного состояния и траекториях нагружения.

По результатам испытаний с помощью программы Excel строились графики, интегральные кривые и дифференциальные гистограммы распределения частиц по данным гранулометрического анализа и обрабатывались данные химического анализа образцов.

Расчетным способом определялись плотность скелета ( $\rho_d$ ), пористость ( $n$ ), коэффициент пористости ( $e$ ), коэффициент уплотняемости ( $F$ ), число пластичности ( $I_p$ ) и показатель текучести ( $I_L$ ) грунтов по формулам, приведенным в [42].

Статистическая обработка данных проводилась в соответствии с классическими методами, описанными в литературе [48].

По данным массива Сосенки и фондовым данным были построены диаграммы типа «ящик с усами». На этой диаграмме (рис. 3.2): 1 (нижняя и верхняя границы ящика) – границы 1 и 3 квартиля выборки, 2 – медиана, крест внутри ящика – среднее значение, 3 (точки вне ящика) – выбросы.

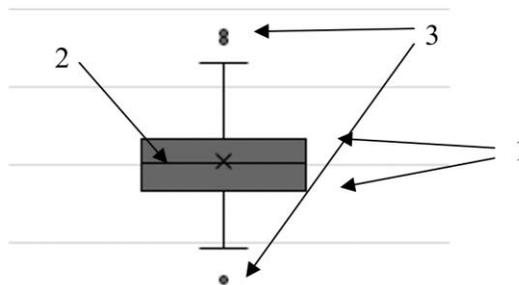


Рисунок 3.2. Диаграмма типа «ящик с усами» (пояснения в тексте)

Диаграмма «ящик с усами», которую также называют диаграммой размаха или «boxplot», помогает компактно представить распределение набора данных. В отличие от простого среднего или медианы такая форма позволяет корректно оценить размах выборки и частоту встречаемости тех или иных значений. Так, 50% значений находятся в «ящике», а остальные значения, за исключением выбросов, значения которых выходят за пределы 1,5 межквартильных размахов от ближайшего квартиля, – в пределах усов.

### 3.3. Методика проведения комплексного ретроспективного анализа территорий

Совместно с сотрудниками ГБУ «Мосгоргеотрест» была разработана методика комплексного ретроспективного анализа. Цель методики заключается в построении цифровой модели восстановленного рельефа (ЦМВР), т.е. со снятым покровом техногенных отложений. Вычитание ЦМВР из современного рельефа позволяет более точно определять мощность насыпных грунтов на исследуемых участках.

В качестве исходных материалов необходимы:

- наиболее древний топографический план местности, содержащий численную информацию о рельефе в виде изолиний и отдельных отметок высот;
- выборка архивных скважин;
- современный топографический план, или цифровая модель рельефа (ЦМР).

В настоящем исследовании построение ЦМВР проводилось в программном комплексе ArcMap. Однако оно может быть воспроизведено в любом программном обеспечении для работы с пространственными данными.

1. Алгоритм Bottom. Построение растрового изображения с помощью инструмента Topo to Raster по отметкам подошвы техногенных отложений в архивных выработках.

2. Алгоритм Thick. С помощью инструмента Extract Values to Points для архивных скважин снимаются отметки современного рельефа. Производится вычитание отметки подошвы техногенных отложений из отметки современного рельефа – это процедура получения расчетной мощности ( $H_p$ ). Далее производится построение раstra по значениям в точках бурения скважин  $H_p$  (Topo To Raster). Участкам с отрицательными значениями  $H_p$  с помощью инструмента Con присваивается величина 0,5 м. Данная процедура может быть описана формулой 1.

$$H_p = \max(0.5, (Z-B)), \quad (3.1)$$

где  $Z$  – отметка земной поверхности в точке бурения инженерно-геологической скважины, взятая из ЦМР, м;  $B$  – абсолютная отметка подошвы техногенных грунтов, задокументированная на момент бурения, м. В моделировании использование этого показателя вместо мощности техногенных грунтов, зафиксированной в буровых скважинах, позволяет сделать поправку на изменение рельефа земной поверхности (следовательно, и кровли техногенных отложений) с момента бурения скважины.

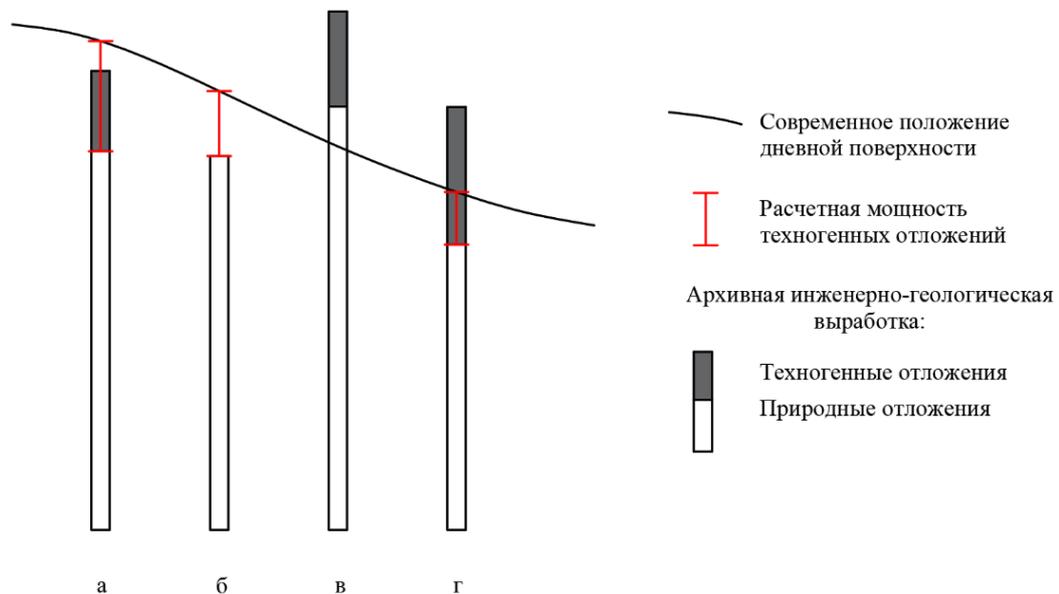


Рисунок 3.3. Пример вычисления расчетной мощности техногенных грунтов на основе ЦМР и данных архивных буровых скважин в различных случаях: а – увеличение мощности техногенных отложений; б – отсутствие техногенных отложений на момент бурения; в – техногенные отложения срезаны в процессе планировки; г – техногенные отложения срезаны частично

3. Алгоритм Max. С помощью инструмента Cell statistics отбирается максимум по двум растрам, полученным при выполнении алгоритмов Bottom и Thick. Помимо функции максимум можно использовать минимизацию и осреднение. Как будет показано в главе 6, выбор функции повышает или снижает точность построения ЦМВР в зависимости от метода интерполяции. Для инструмента Topo To Raster, входящего в состав программного комплекса ArcMap, наибольшую точность показала функция максимум.

4. Алгоритм Paleo. На данном этапе в качестве ЦМВР используются только архивные данные о рельефе. При необходимости производится оцифровка (векторизация) горизонталей (рис. 3.4). Она может производиться вручную непосредственно в программе ArcMap или автоматизировано с помощью программы Easy Trace. Далее необходимо построение растра восстановленного рельефа (Topo To Raster) по полученным горизонталям и точкам с абсолютными отметками.

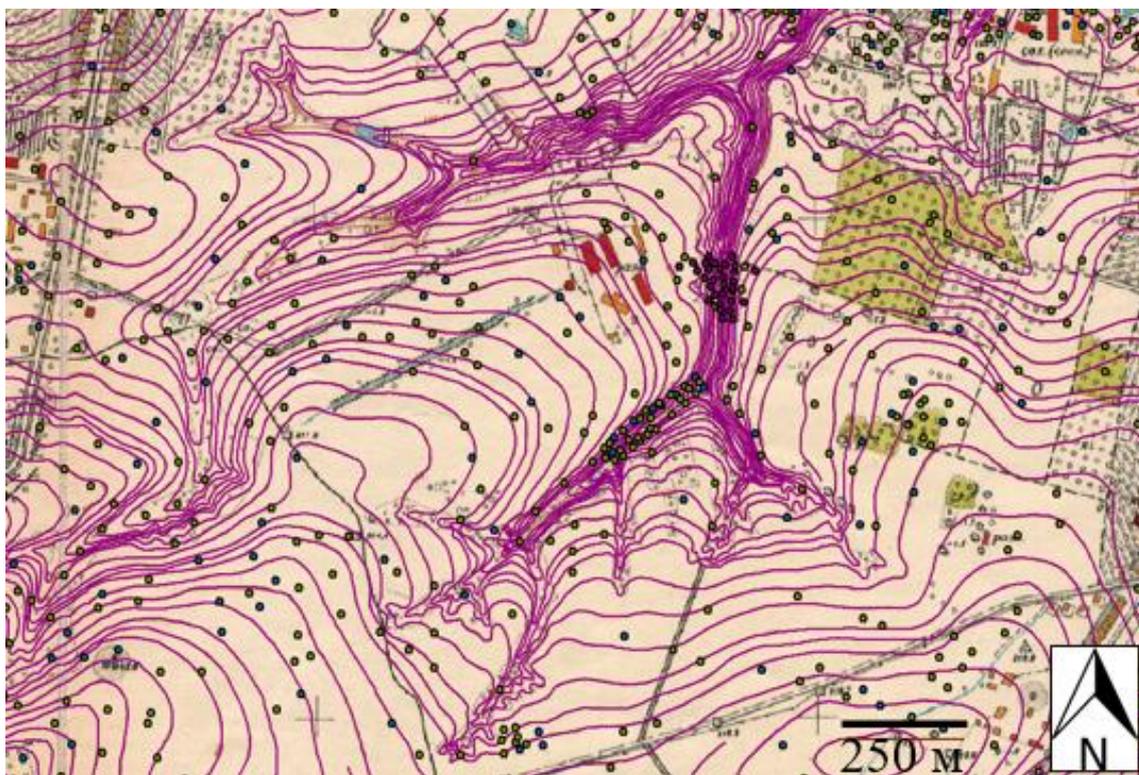


Рисунок 3.4. Оцифрованные горизонталы рельефа

5. Алгоритм Paleo\_Max. С помощью инструмента Cell statistics применяется функция минимум к двум растрам, полученным при выполнении алгоритмов Paleo и Max. Последний шаг позволяет детализировать ЦМВР в местах разреженной посадки архивных скважин или прорисовать овраги, в которые архивные скважины не попали.

Результатом выполнения каждого алгоритма является ЦМВР, однако, последовательное их выполнение позволяет увеличить точность построения. Оценка точности будет подробно рассмотрена в главе 6.

### **3.4. Выводы к главе 3**

1. Исследование проводилось дедуктивным методом – от общих представлений о насыпных грунтах городских территорий, основанных на аналитическом обзоре литературы, к частным случаям из практики инженерно-геологических изысканий.

2. Методика данного исследования опирается на основной закон грунтоведения, согласно которому формирование состава, строения, состояния и свойств грунтов определяется их генезисом, характером постгенетических преобразований и пространственным положением [125].

3. Было изучено 95 участков, проанализированы данные более 2500 геологических выработок и показатели физических и физико-механических свойств грунтов более 2000 образцов, полученных как в ходе инженерно-геологических изысканий, так и в ходе собственных лабораторных исследований.

4. При лабораторных испытаниях грунтов использованы стандартные методики, применяющиеся в инженерной геологии.

5. Впервые применена разработанная совместно с ГБУ «Мосгоргеотрест» методика комплексного ретроспективного анализа, заключающаяся в построении цифровой модели восстановленного рельефа по данным архивных геологических выработок и древних топопланов.

## Глава 4. Закономерности формирования состава, строения и свойств техногенно переотложенных насыпных грунтов (на примере массивов в западной части г. Москвы и месторождения строительных песков «Тимковское»)

Любая осадочная горная порода имеет предысторию своего зарождения (мобилизацию исходных веществ), историю возникновения начального продукта (осадка) и его вещественно-структурного преобразования в породе с последующими постгенетическими изменениями и окончательным разрушением на дневной поверхности, или полной метаморфизацией и переплавлением в недрах (рис. 4.1).

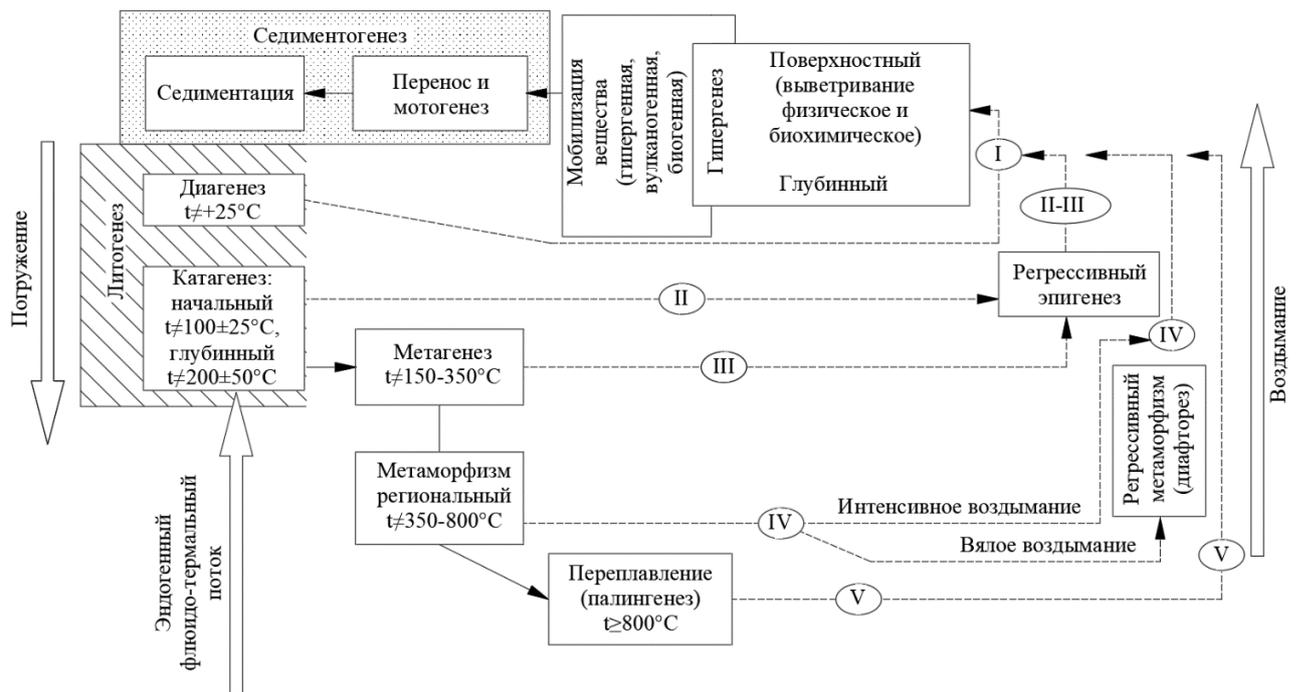


Рисунок 4.1. Общая схема стадий и циклов осадочного породообразования, эндогенных и экзогенных породных изменений [136].

Циклы: I – прерванный; II, III – укороченные; IV – полный; V – полнейший

Природные грунты в естественном залегании в том или ином объеме проходят все стадии [105, 122, 136]:

- 1) мобилизация веществ происходит преимущественно путем выветривания (гипергенеза), однако, важную роль также играют биогенная и вулканогенная составляющие процесса;
- 2) перенос (транспортировка веществ) может осуществляться посредством различных агентов (воды, ветра, гравитации и т.д.), сопровождается мотогенезом – физико-химическим процессом преобразования будущих составных частей осадка [105];
- 3) накопление (седиментация) составляющих осадка, формирование будущих слоев горных пород, которое сопровождается механической и химической дифференциацией вещества;

4) диагенез – «стадия физико-химического и биохимического уравнивания многих реакционноспособных веществ осадка, преобразуемого в породу при термодинамических условиях земной поверхности и малых глубин под нею (десятки и сотни метров), т.е. при относительно малом литостатическом давлении – от 0 до 10 МПа и температуре не более 10-25°C» [136, с. 76].

5) «катагенез – это стадия преобразования и изменения вещественных и структурно-текстурных особенностей осадочных горных пород под действием глубинных температур ( $T =$  от 20-25 до  $200 \pm 25^\circ\text{C}$ ) и давлений ( $P =$  от 10 до 200 МПа), при активном участии флюидной газовой фазы – генерируемой самими породами и отчасти привнесенной из нижележащих геосфер» [136, с. 97].

6) «метагенез – это стадия формирования наложенных на образования катагенеза минеральных, структурных и текстурных изменений осадочных пород – предельно уплотненных и перекристаллизуемых (не полностью) при температуре 200-350°C и давлении свыше 200 МПа» [136, с. 113].

Разработанные Л.В. Пустоваловым и Н.М. Страховым закономерности формирования горных пород нашли отражение и в основном законе грунтоведения, заложенном еще М.М. Филатовым в 1938 г. [126], впервые сформулированном Г.К. Бондариком в 1968 г. [63] в окончательной формулировке В.Т. Трофимова [124]: «инженерно-геологические особенности горных пород, почв, осадков и техногенных геологических образований определяются их генезисом, характером постгенетических процессов и современным пространственным (координатным) положением» [63, с. 184].

Одним из путей постгенетического преобразования является разработка, перемещение и отсыпка, которые приводят к формированию техногенно переотложенных грунтов (кратко – процесс техногенного перемещения).

Процесс образования наиболее молодых отложений, связанных с инженерно-хозяйственной деятельностью человека, процесс нового породообразования и переработки человеком пород земной коры был впервые назван Ф.В. Котловым *антропогенным литогенезом* [68]. При этом антропогенный литогенез бывает стихийным и целенаправленным. Ф.В. Котлов выделял три стадии этого процесса:

- 1) разрушение и изменение пород;
- 2) перемещение пород;
- 3) новое породообразование.

По мнению автора более уместным по отношению к техногенным грунтам, которые включают в себя антропогенные грунты, является термин «техногенный литогенез» (см. раздел 1.2). Поэтому далее будем придерживаться именно этого термина.

В данной главе пойдет речь именно о перемещенных дисперсных грунтах, которые были изъятые из природных массивов, перемещены и уложены тем или иным способом. Теперь массивы перемещенных природных грунтов вторично подвергаются процессам слеживания, уплотнения, в них формируются новые структурные связи [2], что подтверждают данные изучения насыпных грунтов 320-летнего Петровского бастиона на территории Псково-Печерского монастыря (г. Печоры, Псковская обл.) [7].

В отличие от природных грунтов техногенные проходят лишь прерванный (I) цикл породообразования, что обусловлено несоизмеримо малым возрастом отложений (рис. 4.2).



Рисунок 4.2. Схема стадий техногенного литогенеза

*Техногенный гипергенез*, приводящий к мобилизации вещества, является аналогом природного гипергенеза, происходит путем разработки грунта при строительстве, добыче полезных ископаемых и в ходе сельскохозяйственных мероприятий. Если грунт извлекается с глубоких горизонтов (тоннели метрополитена, шахты), то речь идет о глубинном гипергенезе. Если происходит выемка котлованов, траншей, карьерная разработка – это поверхностный гипергенез.

*Транспортировка* извлеченного материала осуществляется с помощью автомобильного или железнодорожного транспорта или вручную (как, например, культурный слой). Важным отличием техногенной транспортировки от естественной является отсутствие механической дифференциации вещества. Исключением являются намывные грунты, не рассматриваемые в данной работе, и добытые гидромеханизированным способом обводненные пески, которые будут рассмотрены ниже.

Под *техногенной «седиментацией»* подразумевается способ отсыпки, который может быть весьма разнообразным. Способ отсыпки определяет строение грунтов как на уровне образца, так и на уровне массива. Так, в намывных грунтов прослеживается изменение их дисперсности от источника материала к периферии. Намывные грунты отличаются большей сортированностью по сравнению с отсыпанными. Хаотичная закономерность может прослеживаться при периодической отсыпке грунтов разного литологического состава в один отвал, как это происходит на полигонах приема строительных отходов или на несанкционированных отвалах. Наконец, *техногенный диагенез* – это самоуплотнение, интенсивность которого зависит от литологического состава грунтов, проведения мероприятий по предварительному уплотнению или их отсутствия.

Стоит отметить, что ближайшим природным аналогом насыпных грунтов, особенно в случае стихийной отсыпки, можно считать обвальные отложения, диагностическими признаками которых являются «большие массы несортированного материала и нестратифицированного материала однородного состава, отвечающего составу местных пород, наличие глыб до десятков метров в диаметре, признаки дробления в твердом состоянии, небольшое количество мелкозема, ограниченность распространения и веерообразная форма в плане» [42, с. 819].

Продемонстрируем характер изменения свойств грунтов при перемещении в насыпи на нескольких примерах, прошедших прерванный (I) цикл техногенного литогенеза.

#### **4.1. Характеристика состава, строения и свойств техногенных и природных суглинков полигона приема строительных отходов «Сосенки»**

##### **4.1.1. Состав грунтов**

По данным минерального рентгеноструктурного анализа в составе исследуемых образцов, отобранных на участке 41 (полигон приема строительных отходов «Сосенки») присутствуют три основных группы минералов: первичные силикаты, глинистые минералы и карбонаты (рис. 4.3).

В группе глинистых минералов присутствуют иллит, смектит, смешанослойные (СММ иллит-смектит). В насыпных грунтах содержание глинистых минералов в среднем ниже, чем у природных. За счет процессов набухания-усадки и сезонных циклов промерзания-оттаивания во время извлечения грунтов из котлованов, перемещения и отсыпки происходила деградация глинистых минералов. Из-за этого в техногенных грунтах смешанослойные минералы почти полностью преобразованы в смектиты, в то время как в природных суглинках, находящихся на глубине, смешанослойные минералы преобладают над смектитами.

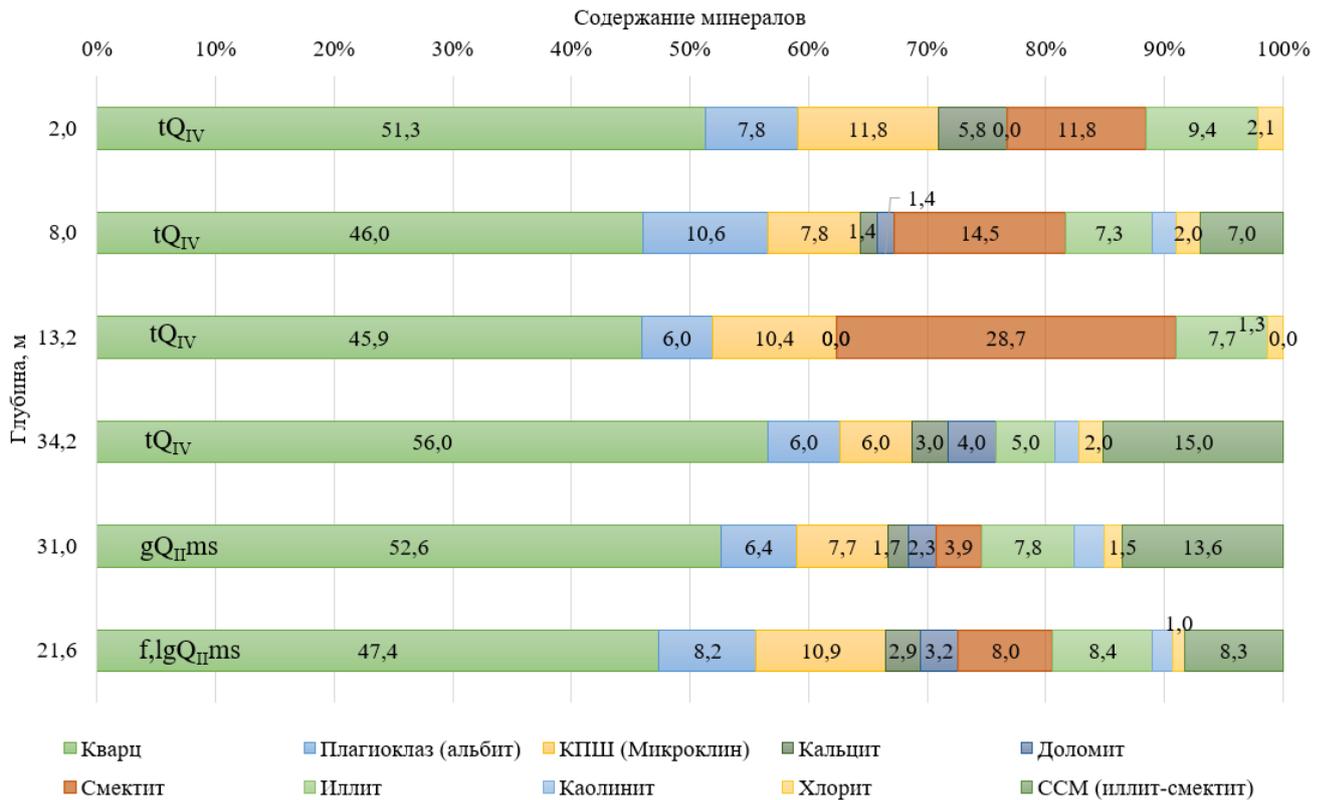


Рисунок 4.3. Минеральный состав исследуемых грунтов полигона приема строительных отходов «Сосенки»

Кальцит встречается не во всех образцах и его содержание не превышает 8%. Содержание карбонатов незначительно увеличивается с глубиной от техногенных суглинков к природным. Органическое вещество, определенное методом мокрого сжигания, наблюдается только в образцах из насыпи и составляет 0,2-0,3%. При этом потери при прокаливании составляют 1,6-5,3% для техногенных грунтов, 1,4-3,6% для моренных суглинков и 1,5-4,4% для флювиогляциальных суглинков. Такая разница в определениях двумя методами может свидетельствовать о том, что при прокаливании сжигаются карбонаты и хлориты, а содержание органического вещества незначительно. Источником органических веществ в насыпных грунтах могут служить погребенные почвенные горизонты, бытовой и строительный мусор.

Таким образом, минеральный состав природных суглинков ледникового комплекса практически не меняется после перемещения в отвалы даже после хранения в течение 5-17 лет. Вероятно, небольшие изменения происходят в поверхностном слое, где происходит выщелачивание карбонатов, а доля глинистых минералов, в т.ч. разбухающих пакетов, может увеличиваться под действием природных факторов.

Анализ **солевого состава водных вытяжек** выявил различия между природными и техногенными суглинками. В техногенных грунтах чаще всего преобладает гидрокарбонат кальция. В природных моренных суглинках преобладают сульфат и гидрокарбонат натрия, а в

водно-ледниковых – хлорид натрия. Повышенное содержание хлоридов и кальциевых солей в техногенных суглинках объясняется загрязнением антигололедными реагентами. Преобладание хлорида натрия в водно-ледниковом суглинке, вероятно, связано практикой складирования на этой территории загрязненного реагентами снега в прошлом.

Все грунты, кроме одного моренных являются незасоленными, рН меняется от 7,30 до 8,84. Тип засоления у техногенных грунтов смешанный, у моренных суглинков – сульфатный, у водно-ледникового образца – хлоридный. В таблице 4.1 приведены средние значения для исследуемых генетических типов.

Таблица 4.1

Характеристики засоленности исследуемых образцов

Номер образца	tQ <sub>IV</sub>	f,lgQ <sub>IIms</sub>	gQ <sub>IIms</sub>
Сухой остаток, %	0,229	0,169	0,696
рН	7,93	8,04	8,07
Тип засоления	хлоридно-сульфатный	хлоридный	сульфатный
Степень засоленности	незасол.	незасол.	слабозасол.

#### 4.1.2. Строение грунтов

Анализ гранулометрического состава показал, что техногенные грунты содержат в среднем 6% дресвяных (максимум 29%), что связано с наличием бытового мусора. В моренных суглинках среднее содержание дресвы также составляет 6% при максимальном 17%. Флювиогляциальные суглинки содержат еще меньше почвы: в среднем 1%, максимум 9%.

Содержание песчаных фракций в насыпных суглинках колеблется от 14% до 64% (в среднем 39%), что меньше, чем в моренных – (от 33% до 62%, в среднем 52%). Наибольшие колебания содержания песчаных фракций наблюдаются в флювиогляциальных отложениях: от 1% до 75%, но среднее значение (29%) меньше, чем в других типах суглинков.

Содержание пылевой группы фракций в техногенных грунтах изменяется от 22 до 71% и составляет в среднем 41%, в моренных суглинках пылеватых частиц меньше – от 19 до 42%, среднее содержание – 28%. Во флювиогляциальных суглинках содержание пылеватых частиц больше, чем в техногенных и моренных, от 6 до 77%, среднее содержание – 58%.

Содержание глинистых частиц во всех исследованных суглинках схоже: в техногенных грунтах оно колеблется от 4% до 23%, в моренных – от 6% до 36%, а во флювиогляциальных – от 0% до 30%. Среднее содержание глинистой фракции во всех типах суглинков практически одинаково и составляет 12-14%.

Микроагрегатный анализ показал, что в большинстве образцов преобладают микроагрегаты размером 0,05-0,1 мм. Интересно, что в некоторых образцах вне зависимости от

генезиса все глинистые частицы участвуют в формировании микроагрегатов. Для наглядного сравнения гранулометрического и микроагрегатного составов были построены интегральные кривые (рис. 4.4).

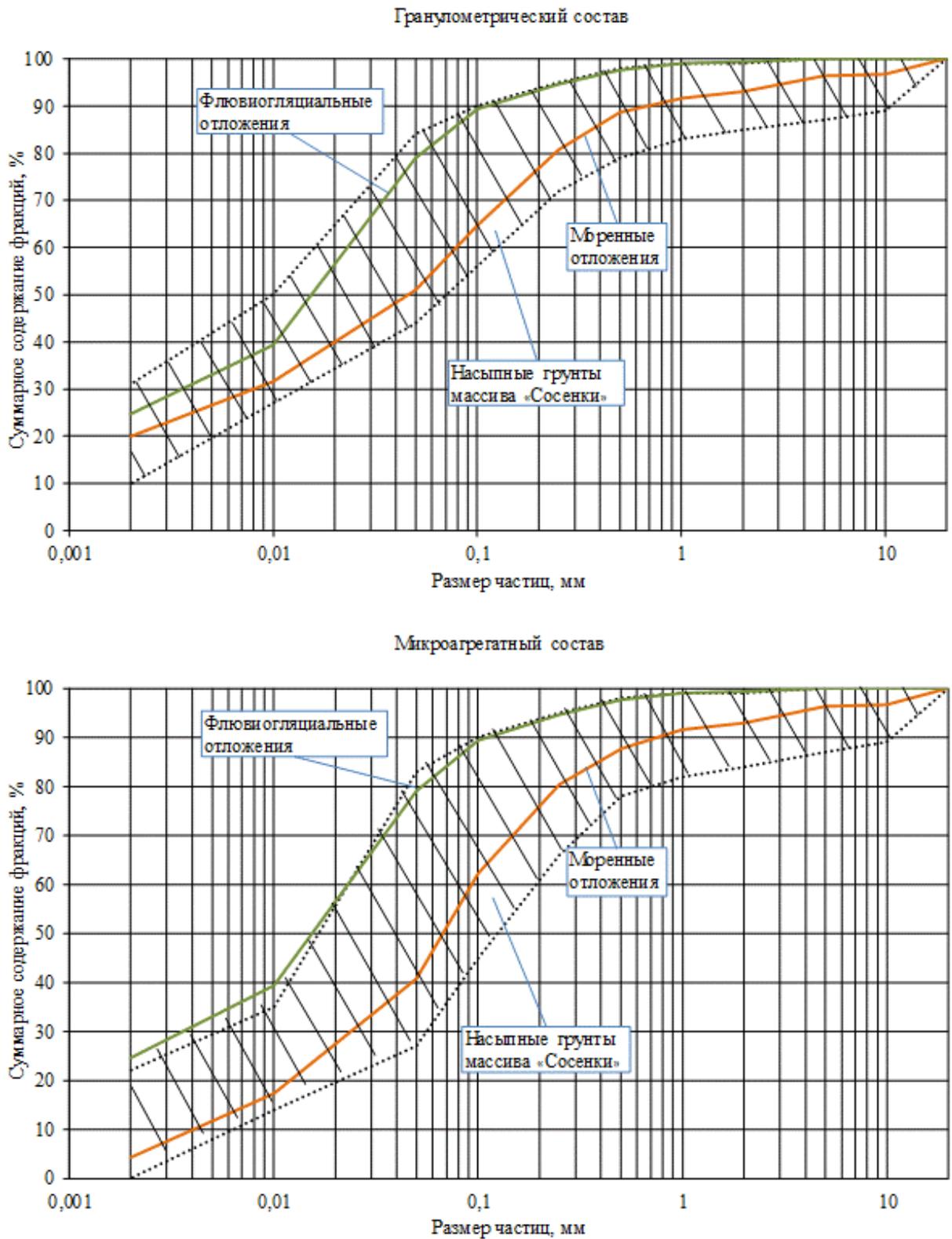


Рисунок 4.4. Интегральные кривые гранулометрического и микроагрегатного составов грунтов

Микроагрегатный анализ песчаных фракций выявил наличие разнообразных компонентов: кварцевых зерен различной формы и размера, обломков полевых шпатов, частиц с признаками ожелезнения и металлическим блеском, устойчивых к разрушению агрегатов мелких кварцевых зерен, а также фрагментов строительных материалов (кирпича, бетона и др.) (рис. 4.5).

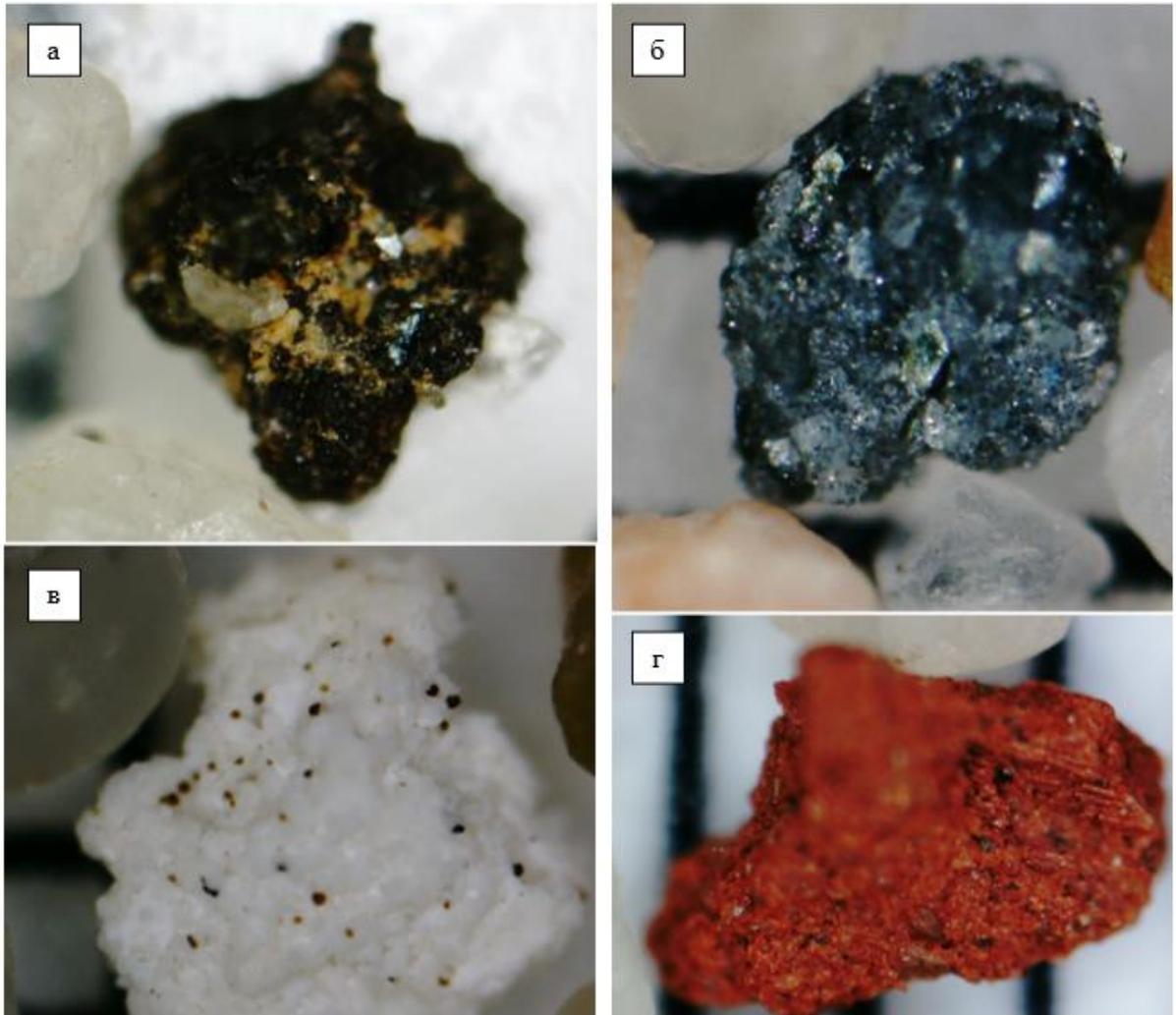


Рисунок 4.5. Зерна фракции 0,25-0,1 мм: а – образцы моренных суглинков; в – образец флювиогляциального суглинка; г, д – образцы техногенных суглинков (фото Е.А. Савинковой)

Исследование микроструктуры образцов (рис. 4.6) показало, что образцы насыпных грунтов обладают матричной и скелетно-матричной структурой. Во всех образцах наблюдаются плотные агрегаты, состоящие из песчаных и пылеватых частиц, соединенных глинистыми «мостиками» (рубашками). На границах этих «мостиков» при большом увеличении заметна пленка, которая может выполнять роль цементирующего вещества. В основном встречаются точечные контакты между частицами. Интересно, что структура техногенных образцов и флювиогляциального образца имеет сходство, что может свидетельствовать об участии именно флювиогляциальных грунтов в формировании техногенного массива.

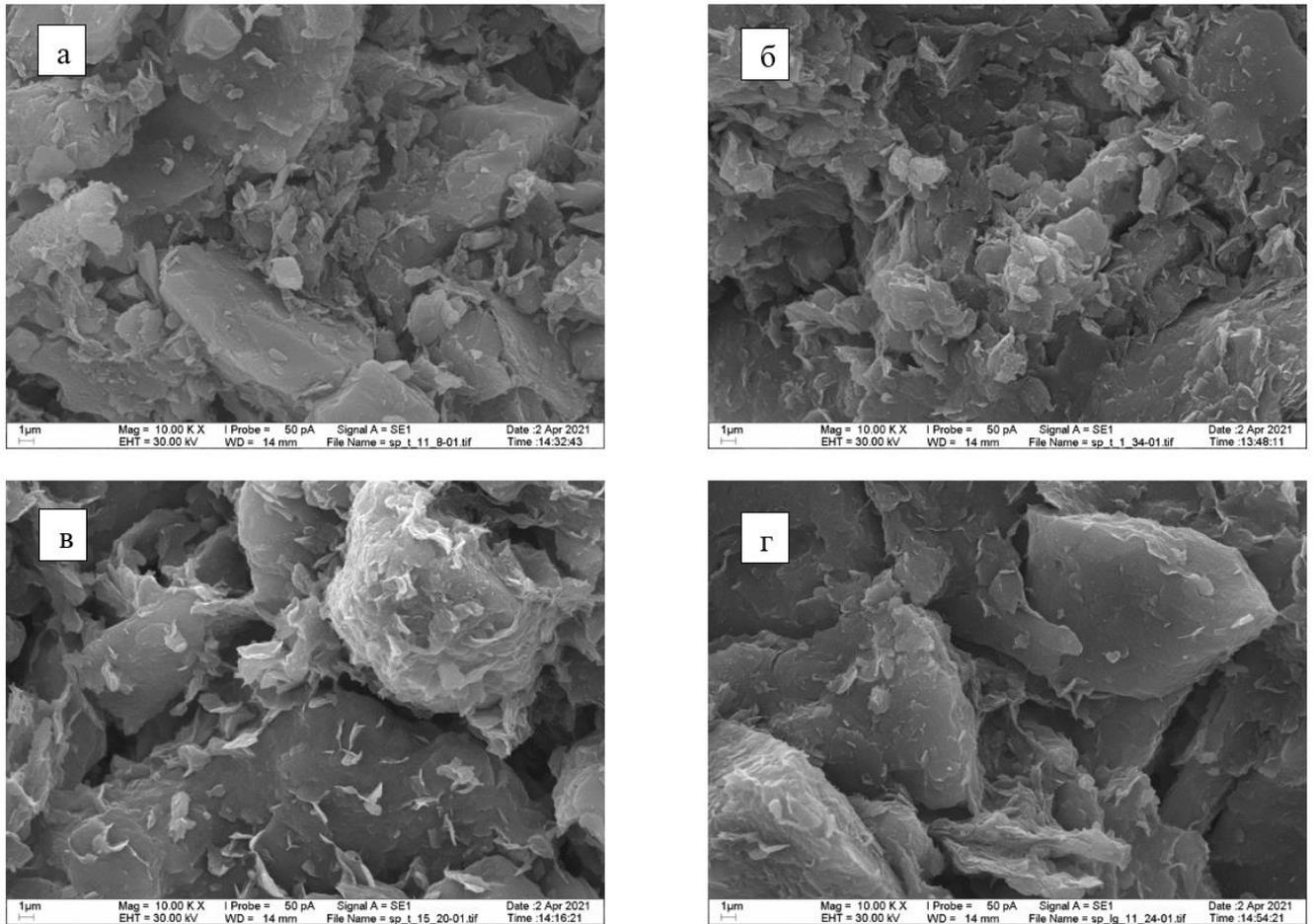


Рисунок 4.6. РЭМ-изображения образцов: а, б, в – техногенных грунтов;  
в – флювиогляциальных (фото М.С. Чернова)

#### 4.1.3. Состояние и свойства грунтов

Анализ влажностного состояния грунтов (рис. 4.7) показал, что природная влажность техногенных суглинков колеблется от 13% до 28% (в среднем 20%). По консистенции они варьируют от текучепластичных до твердых, с показателем текучести от -0,66 до 0,83. Моренные суглинки характеризуются меньшей влажностью (от 11% до 20%, в среднем 14%) и показателем текучести от -0,22 до 0,74. Флювиогляциальные суглинки по влажности схожи с техногенными (от 13% до 29%, в среднем 21%), показатель текучести составляет от -0,57 до 0,83.

Таким образом, по влажностному состоянию техногенные суглинки ближе к флювиогляциальным и отличаются от моренных большей вариативностью этого показателя.

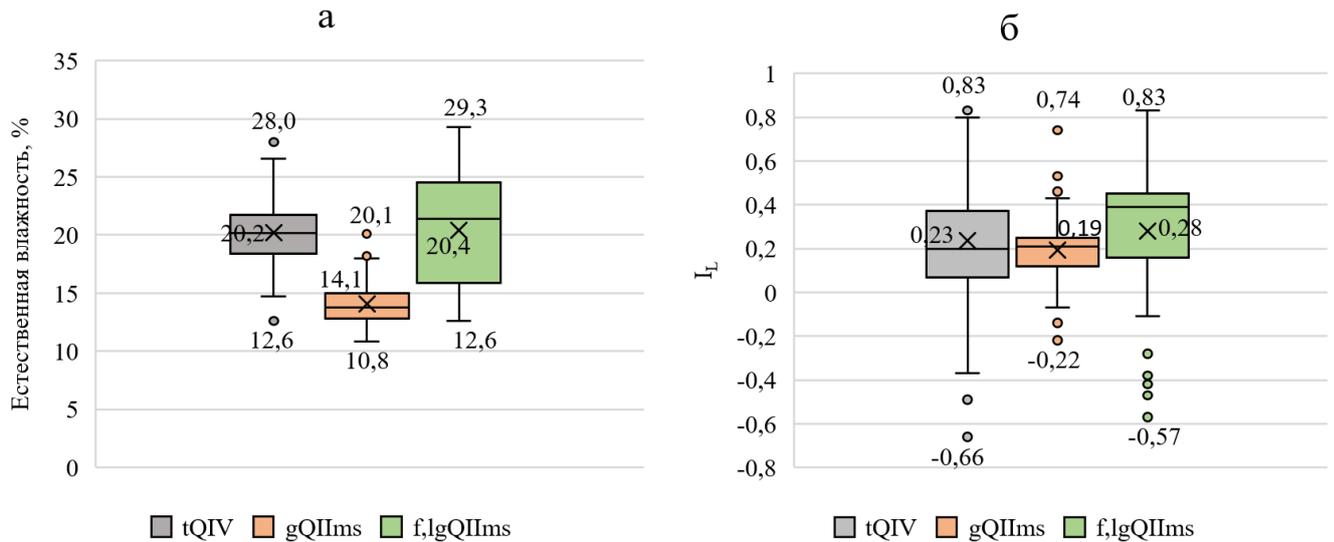


Рисунок 4.7. Естественная влажность (а) и показатель консистенции (б) грунтов полигона приема строительных отходов «Сосенки»

Большой разброс значений естественной влажности и показателя текучести флювиогляциальных суглинков объясняется разнообразием условий их формирования (фациальной изменчивостью отложений талых ледниковых вод). Глинистые грунты в этих отложениях занимают подчиненное положение по сравнению с песчаными, которые являются основными аккумуляторами подземных вод. Поэтому влажность глинистых прослоев варьирует в зависимости от их положения в разрезе и близости к водоносным горизонтам.

Степень влажности у всех типов грунтов близка между собой (рис. 4.8): у техногенных суглинков она колеблется в пределах от 0,70 до 1,00, у моренных – от 0,74 до 1,00, а у флювиогляциальных – от 0,67 до 1,00. В основном грунты насыщены водой.

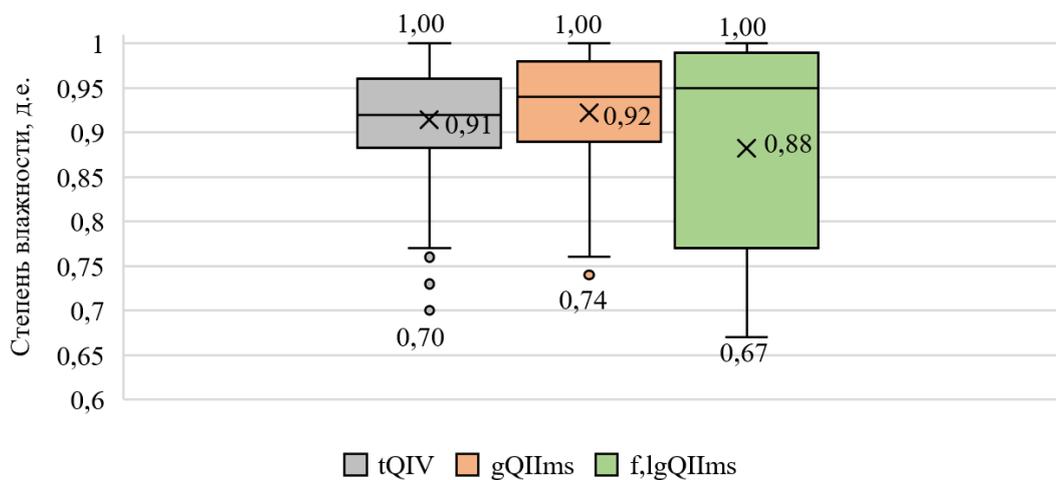


Рисунок 4.8. Степень влажности грунтов полигона приема строительных отходов «Сосенки»

Плотность частиц техногенных суглинков ниже, чем у природных, различается незначительно (рис. 4.9). При этом насыпные суглинки имеют больший разброс значений за счет большей неоднородности грунтов, попадания в насыпь бытового и строительного мусора, фрагментов почвенных горизонтов. Органическое вещество и наличие солей также может снижать плотность частиц техногенных грунтов. Диапазоны изменения плотности скелета грунтов представлены на рис. 4.10.

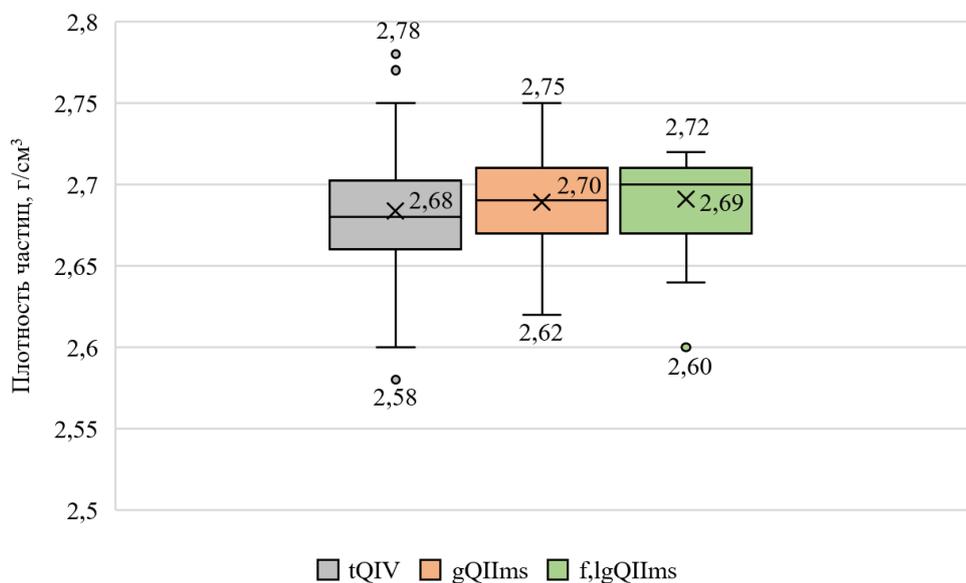


Рисунок 4.9. Плотность частиц грунтов полигона приема строительных отходов «Сосенки»

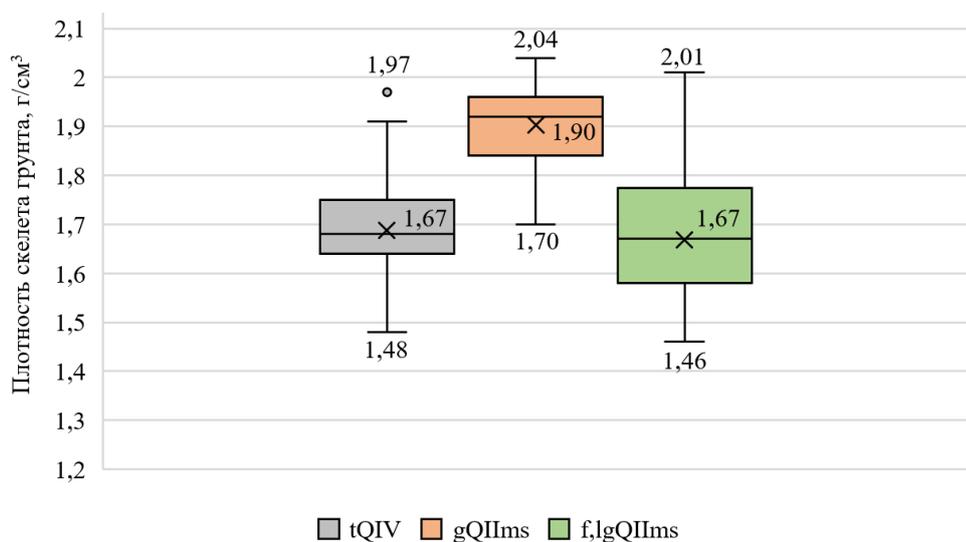


Рисунок 4.10. Плотность скелета грунтов массива Сосенки и по фондовым данным

На основании анализа физических свойств грунтов полигона приема строительных отходов «Сосенки» можно заключить, что из-за большей неоднородности техногенные суглинки соответствуют флювиогляциальным суглинкам. Следовательно, в насыпной массив поступало больше грунтов именно этого генезиса.

График зависимости плотности скелета от абсолютной отметки (рис. 4.11) демонстрирует послышное уплотнение массива. Средняя мощность отсыпанных слоев составляет около 2 м. Вероятно, каждый новый слой уплотнялся техникой, использовавшейся для транспортировки грунта, либо специальными катками и бульдозерами. Дополнительное уплотнение происходило со временем под собственным весом. Имеется тенденция увеличения плотности насыпных грунтов со снижением отметки. Более того, для моренных суглинков, наоборот, наблюдается снижение плотности с глубиной, что может быть обусловлено их техногенным уплотнением под весом насыпного массива.

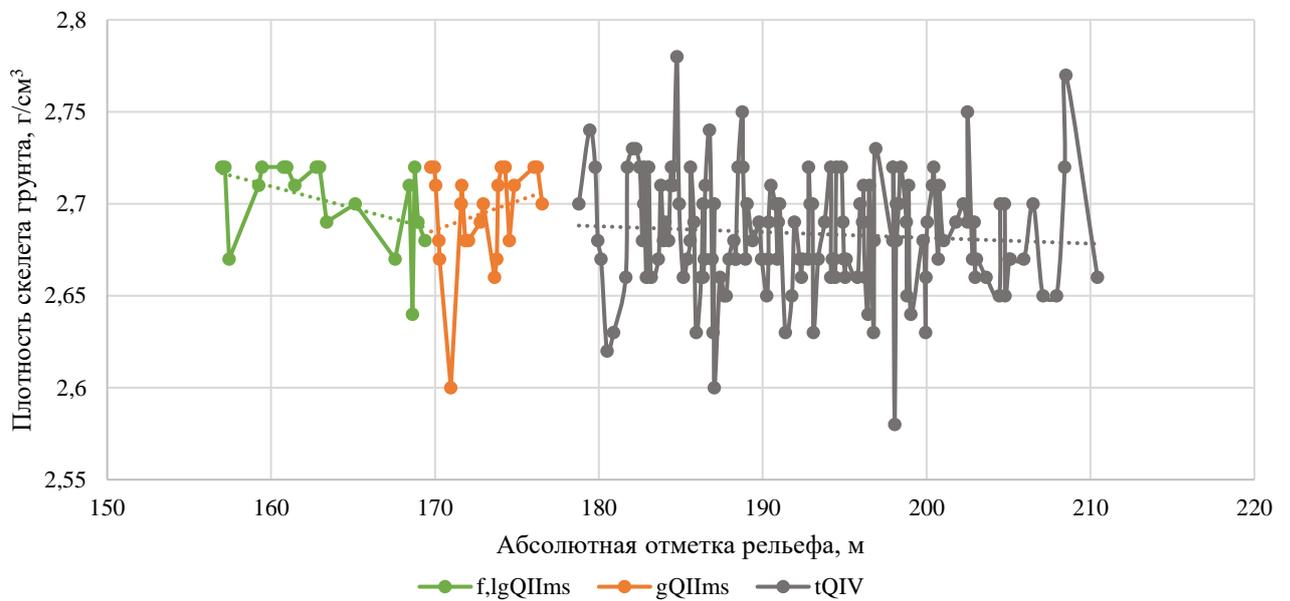


Рисунок 4.11. Зависимость плотности скелета образцов от их высотного положения в массиве

По физико-механическим характеристикам насыпные грунты уступают природным. Так, удельное сцепление и угол внутреннего трения (рис. 4.12). всех грунтов увеличиваются с глубиной и ростом плотности скелета грунта. Однако значения сцепления до 0,04 МПа характерны преимущественно для техногенных суглинков, а более высокие значения — для моренных. Значения модуля деформации исследуемых грунтов поддаются той же закономерности — у техногенных они находятся в диапазоне 2,0-15,0 МПа по данным компрессионных испытаний, у моренных 2,9-14,5 МПа, у флювиогляциальных 2,6-8,6 МПа. При этом для техногенных суглинков среднее значение модуля деформации наименьшее и составляет 5,0 МПа (рис. 4.13).

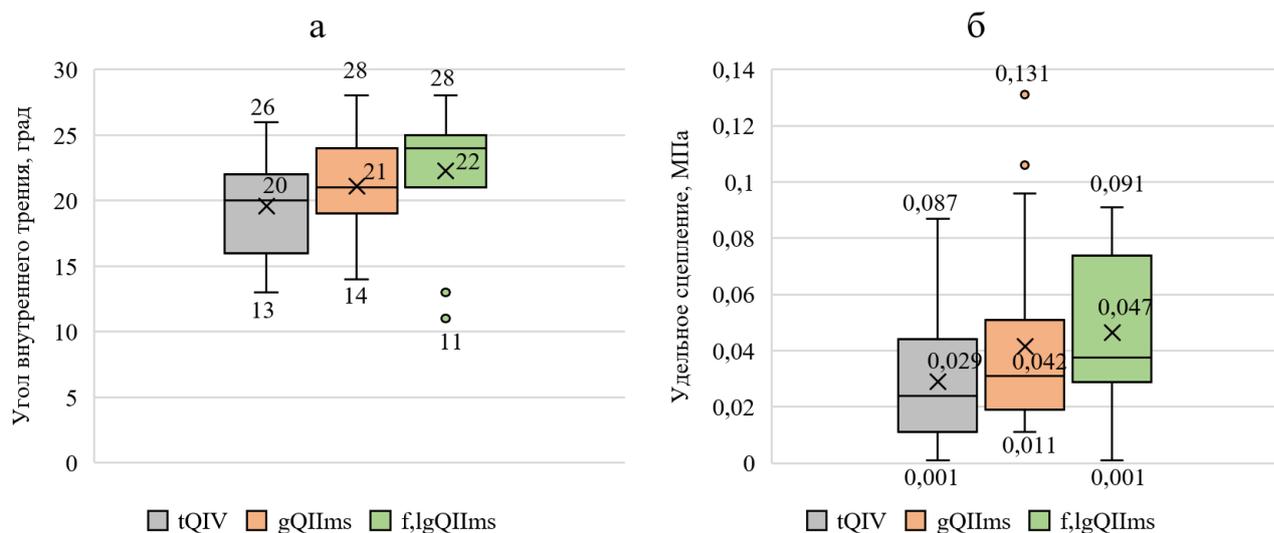


Рисунок 4.12. Удельное сцепление (а) и угол внутреннего трения (б) грунтов полигона приема строительных отходов «Сосенки»

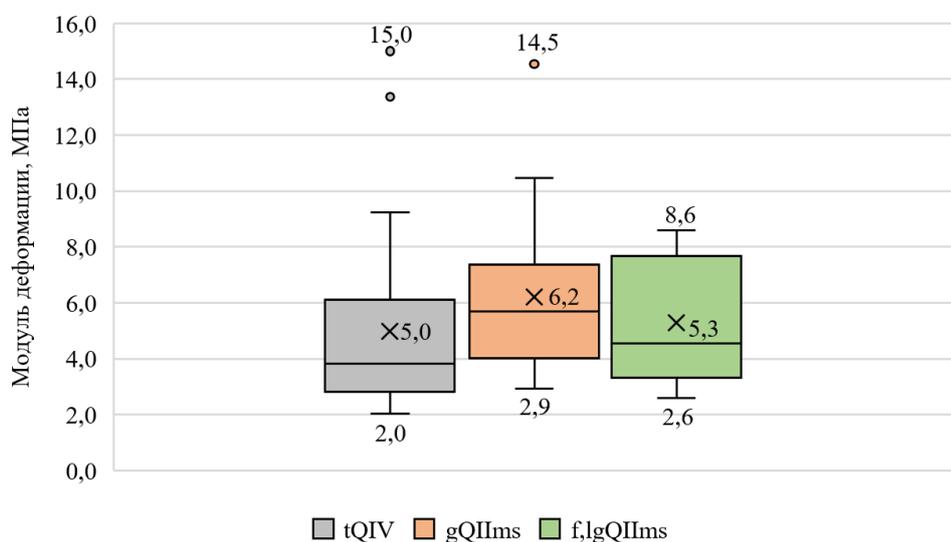


Рисунок 4.13. Одометрический модуль деформации грунтов полигона приема строительных отходов «Сосенки»

Многомерный регрессионный анализ, позволил выявить зависимости физико-механических характеристик исследуемых грунтов их физических свойств (табл. 4.2). Для техногенных грунтов модуль деформации и сцепление находятся в прямой зависимости от глубины отбора образцов и плотности скелета. Угол внутреннего трения определяется содержанием песчаной фракции (2-0,05 мм). У моренных суглинков модуль деформации зависит от числа пластичности, а удельное сцепление – от плотности скелета и показателя консистенции. Сложность в установлении зависимостей для флювиогляциальных суглинков обусловлена их фацальной изменчивостью. Выявлена обратная зависимость модуля деформации и угла внутреннего трения от показателя консистенции.

Результаты многомерного регрессионного анализа

Индекс	Модуль деформации E, МПа	Удельное сцепление C, МПа	Угол внутреннего трения φ, град
tQIV	$E = -21.79 + 0.14 \cdot h + 14.885 \cdot \rho_d$ , h – глубина отбора, м r=0,5	$C = -0.32 + 0.001 \cdot h + 0.2 \cdot \rho_d$ r=0,7	$\varphi = 13.33 + 0.155 \cdot (\text{содержание песчаной фракции})$ r=0,4
gQIIms	$E = -42.25 + 20.64 \cdot \rho_d + 0.855 \cdot I_p$ r=0,7	$C = -0.59 + 0.29 \cdot \rho_d + 0.008 \cdot I_p$ r=0,7	$\varphi = 41.49 - 1.47 \cdot W$ r=0,7
f,lgQIIms	$E = 5.81 - 3.84 \cdot I_L$ r=0,7	$C = 0.2 - 0.001 \cdot h - 0.089 \cdot \rho_d$ r=0,8  $C = 0.05 - 0.06 \cdot I_L$ r=0,96	-

По результатам подробного изучения инженерно-геологических характеристик грунтов полигона приема строительных отходов «Сосенки» можно сделать следующие выводы.

Анализ минерального состава глинистой фракции показал преобладание смешанослойных минералов в природных грунтах и смектитов в техногенных. Перемещение моренных суглинков повлияло на содержание глинистых минералов: в природных суглинках, находившихся на поверхности, из-за процессов выветривания смешанослойные минералы почти полностью преобразованы в смектиты, в отличие от природных суглинков, находящихся на глубине. Состав водорастворимых солей в техногенных суглинках отличается от природных из-за влияния антигололедных реагентов.

По результатам гранулометрического и микроагрегатного анализов можно заключить, что значительная часть образцов моренных суглинков расположена в области оптимальных грунтовых смесей или около нее, в то время как техногенные и флювиогляциальные суглинки имеют большее разнообразие соотношений групп фракций. Техногенные суглинки отличаются меньшим размером среднего диаметра частиц, что возможно из-за механического воздействия при перемещении грунтов.

Физические характеристики техногенных отложений более изменчивы по сравнению с природными, однако сходны с флювиогляциальными суглинками, для которых высокая вариативность показателей характерна из-за чередования слоев суглинков и песков. Из-за возраста массива самоуплотнение проявляется слабо, но наблюдается увеличение его развития с глубиной.

#### 4.2. Характеристика строения и свойств добываемых гидромеханизированным способом аллювиальных песков Тимковского месторождения (Московская область)

Показатели инженерно-геологических свойств грунтов зависят не только от технологии отсыпки, но и от способа их добычи. Если полезный пласт песков находится выше уровня грунтовых вод, то материал перевозится на строительные площадки в неизменном виде или с отсеянной «сухим» способом крупнообломочной фракцией. Если месторождение обводнено, то используется гидромеханизированный способ разработки, который позволяет «отмыть» пылеватые и глинистые частицы и к тому же увеличить коэффициент фильтрации грунтов, что является немаловажным в дорожном строительстве. Таким образом получают обогащенные и фракционированные пески, которые характеризуются основными показателями в соответствии с ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия» [39]:

- модулем крупности  $M_K$ , вычисляемым по формуле 4.1:

$$M_K = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100}, \quad (4.1)$$

где  $A$  – полные остатки на сите с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм и на ситах с сетками N 1,25; 063; 0315; 016, %;

- содержанием пылеватых и глинистых частиц, а также глины комками;
- зерновым составом.

Так, на Тимковском месторождении обводненных аллювиальных песков в Московской области гидромеханизированный способ разработки привел к обогащению песка, что повлекло за собой снижение неоднородности грунтов, повышение коэффициента фильтрации, снижение природного сцепления (табл. 4.3). При несущественном изменении гранулометрического состава строительные качества песков заметно возросли.

Таблица 4.3

Характеристика строительных песков месторождения «Тимковское»

Геологический индекс	Коэффициент неоднородности $K_n$	Модуль крупности $M_k$	$K_f$ , м/сут	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	$W_{opt}$ , %	Объемы полезных ископаемых, тыс. м <sup>3</sup>
aQIII-IV	3	0,7	0,1	1,68	14,3	7350
tQIV	3	0,7	2,7	1,59	13,4	

### 4.3. Характеристика строения и свойств техногенно переотложенных дочетвертичных отложений

Особенно неблагоприятно процесс перемещения сказывается на грунтах дочетвертичного возраста, в большей степени подвергшихся процессам литификации. Разрушение прочных структурных связей приводит к необратимому снижению физико-механических характеристик грунтов даже при целенаправленной укладке. Так, нижнемеловые пылеватые пески, слагающие оползневой склон на Воробьевых горах (см. участок 8 «Воробьевы Горы»), подверглись ступенчатой переработке – гравитационному, водно-гравитационному и техногенному перемещению. В процессе природного воздействия происходила сортировка частиц грунтов, повышение однородности гранулометрического состава, вместе с тем и естественное разуплотнение до рыхлого состояния. Техногенное воздействие, наоборот, привело к попаданию в грунты антропогенных включений, увеличению коэффициента неоднородности, и они вновь были техногенно уплотнены (рис. 4.14).

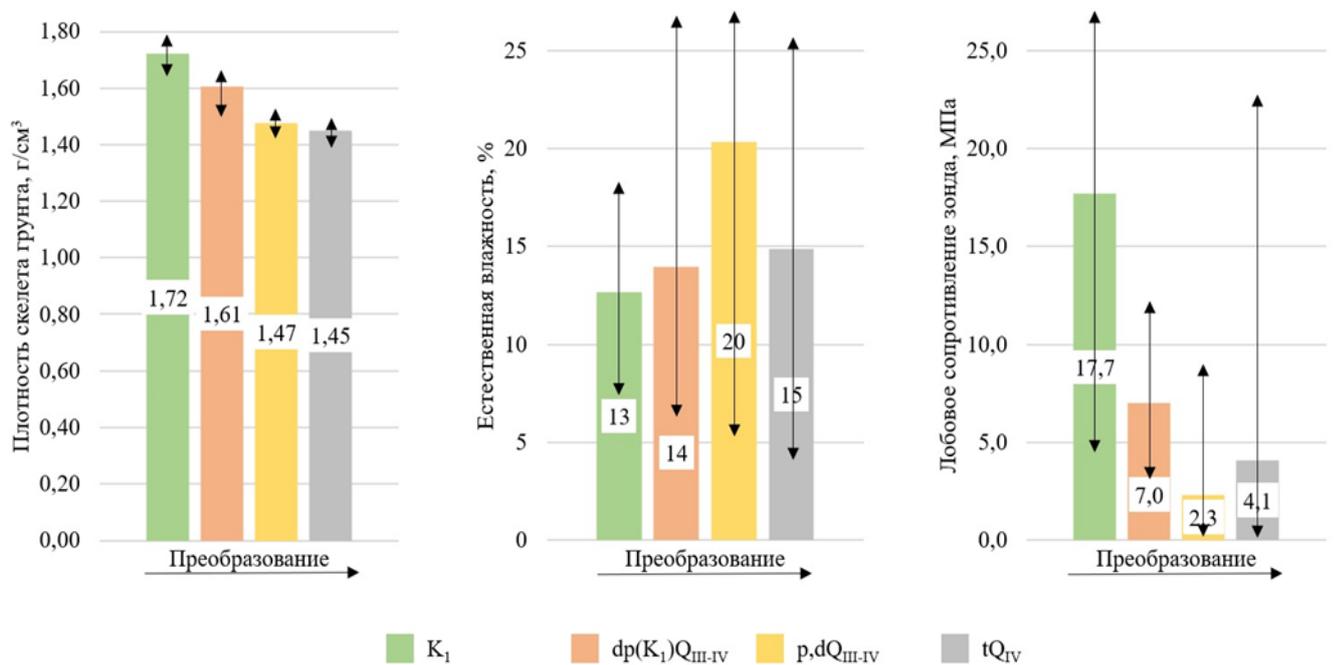


Рисунок 4.14. Изменение инженерно-геологических характеристик пылеватых песков мелового возраста при гравитационном, водно-гравитационном и техногенном перемещении

При проходке тоннелей метрополитена происходит дробление природных грунтов с жесткими структурными связями, за счет чего они переходят из класса скальных в класс дисперсных, превращаясь в гравийно-дресвяный грунт с заполнителем или без него (рис. 4.15).

Так, в табл. 4.4 приведены значения показателей физических и физико-механических свойств исходных глинистых известняков перхуровской подсвиты верхнего карбона в районе

станции метро Фили и отобранного на участке 37 «Территория МГУ» (см. гл. 2) гравийно-дресвяного грунта, образованного в результате дробления каменноугольных известняков. В массиве известняки имеют высокие показатели плотностных и прочностных свойств и чаще всего находятся в обводненном состоянии, но при перемещении они дробятся, теряют влажность, плотность грунтов и степень влажности снижаются.

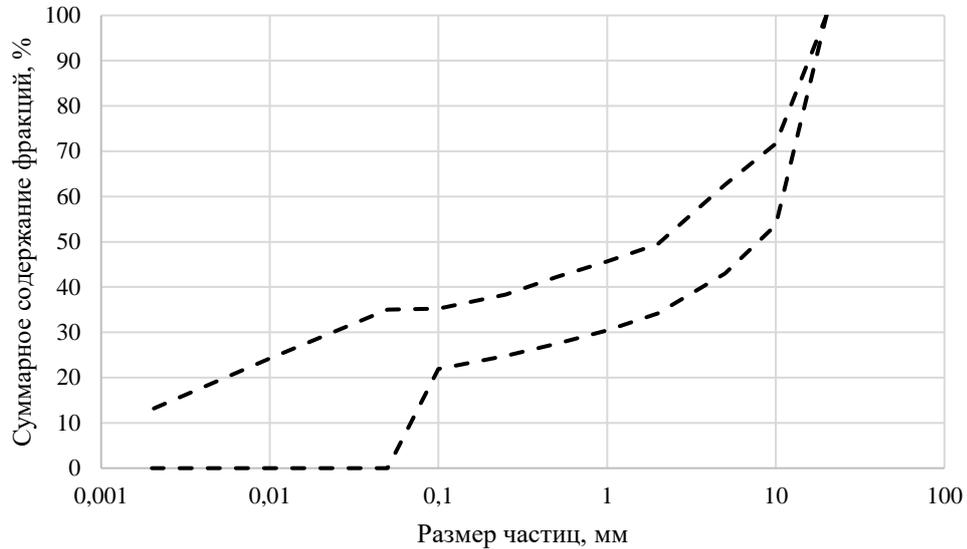


Рисунок 4.15. Интегральная кривая гранулометрического состава раздробленного известняка

Таблица 4.4

Показатели физических и физико-механических свойств природных глинистых известняков и техногенно раздробленного известняка

Показатель \ Наименование грунта	Известняк глинистый средней прочности, неразмягаемый, Сзрг	Гравийно-дресвяный грунт известковый с глинистым заполнителем (разрушенный известняк), tQIV
Плотность твердых частиц $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,84	2,70-2,81 (2,78)
Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,63-2,47 (2,22)	1,64-2,02 (1,71)
Плотность скелета грунта $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	1,63-2,47 (2,04)	1,52-1,82 (1,58)
Коэффициент пористости $e$ , ед.	0,15-0,74 (0,41)	0,53-0,82 (0,77)
Влажность $W$ , %	3,2-17,7 (9,2)	8,8
Степень влажности $S_r$ , д.е.	0,42-0,73 (0,63)	0,20-0,85 (0,32)
Прочность на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии $R_c$ , МПа	23,8-120,1 (45,9)	-

#### 4.4. Разрыхление грунтов при техногенном перемещении

При извлечении грунтов из транспортных тоннелей и котлованов происходит их разуплотнение, связанное со снятием бытовой нагрузки, дроблением породы, образованием пустотности и набуханием. Коэффициент разрыхления, под которым понимается отношение объема горной породы в отвале к объему горной породы в массиве, зависит от литологического состава, степени литификации (возраста), консистенции и плотности природного сложения. В таблице 4.5 представлены коэффициенты разрыхления грунтов при проходке тоннелей метрополитена преимущественно в Западном и Юго-Западном административных округах, вычисленные по данным АО «МОСТДОРГЕОТРЕСТ».

Таблица 4.5

Коэффициенты разрыхления грунтов на территории г. Москвы

Геологический индекс	Наименование грунта	Проектная плотность, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент разрыхления
gQ <sub>IIms</sub>	суглинки полутвердые	2,17	1,31
gQ <sub>ids</sub>	суглинки полутвердые	2,12	1,41
a,fQ <sub>Ivk-ds</sub> <sup>1</sup>	пески мелкие средней плотности	-	1,18
aQ <sub>III</sub>	пески мелкие средней плотности	1,92	1,55
K <sub>1</sub>	пески средней крупности плотные	2,05	1,35
K <sub>1</sub>	пески пылеватые плотные	2,02	1,49
K <sub>1pr</sub>	суглинки полутвердые	2,01	1,25
K <sub>1pr</sub>	глины полутвердые	1,93	1,46
J <sub>3fl</sub>	глины полутвердые	1,92	1,88
J <sub>2-3vd-er</sub>	глины полутвердые	1,77	1,68
C <sub>3ts2</sub> <sup>2</sup>	глины мергелистые твердые	2,71	1,72
C <sub>3kr2</sub>	глины твердые	2,11	2,12
C <sub>2-3</sub>	известняки и мергели	2,31	1,75

#### 4.5. Выводы к главе 4

1. Изменение состава, строения и свойств грунтов при техногенном перемещении носит разнонаправленный характер, который зависит как от характеристик грунтов в естественном залегании, так и от способа и технологии отсыпки. Стоит отметить, что неконтролируемое смешение грунтов разного литологического состава при перемещении препятствует прогнозированию свойств насыпных грунтов в отвале, поэтому рекомендуется их отдельное складирование.

2. В глинистые грунты попадает крупнообломочный материал: строительный и бытовой мусор, обломки раздробленных горных пород, песчаные грунты, происходит уменьшение дисперсности. Расширяется диапазон изменения показателей физических и физико-механических свойств грунтов, характер изменения зависит от способа отсыпки (целенаправленное или стихийное).

3. Песчаные грунты при целенаправленной укладке перемещаются в неизменном виде либо с меньшим содержанием глинистой составляющей за счет отмыва глинистых и пылеватых частиц при гидромеханизованном способе разработки, в ходе чего снижается неоднородность грунтов, повышается их коэффициент фильтрации, снижается сцепление. Укладка песков при оптимальной влажности до плотности, соответствующей коэффициенту уплотнения 0,95-0,98, приводит к увеличению угла внутреннего трения и снижению сжимаемости относительно их залегания в естественном состоянии.

4. Нецеленаправленная укладка, наоборот, приводит к повышению неоднородности, снижению плотностных и физико-механических характеристик песчаных грунтов.

5. Особенно неблагоприятно процесс перемещения сказывается на грунтах дочетвертичного возраста, в большей степени подвергшихся процессам литификации. Разрушение прочных структурных связей приводит к необратимому снижению физико-механических характеристик грунтов даже при целенаправленной укладке.

6. Скальные и полускальные грунты при разработке дробятся и переходят в класс дисперсных грунтов щебенистой и дресвяной размерности с заполнителем или без него.

На основании полученных результатов можно сформулировать **первое защищаемое положение**: **характер изменения состава, строения и свойств насыпных грунтов при техногенном перемещении определяется как генетико-морфологическими особенностями грунтов в естественном залегании, так и технологией и давностью отсыпки. В наибольшей степени изменениям подвергаются грунты дочетвертичного возраста, обладающие прочными структурными связями: скальные грунты переходят в класс дисперсных с коренным изменением свойств. В песчаных грунтах происходит уменьшение дисперсности за счет вымывания тонких фракций; свойства переотложенных песков широко варьируют в зависимости от степени плотности в насыпном массиве и мало меняются во времени; глинистые грунты четвертичного возраста в насыпях меняют состав и свойства под влиянием условий и истории формирования массива, физико-химических факторов окружающей среды и времени.**

## Глава 5. Типизация насыпных техногенных грунтов г. Москвы и прилегающих территорий<sup>3</sup>

### 5.1. Схема типизации насыпных грунтов территории г. Москвы

Разработанные ранее типизации и классификации учитывают либо генезис, либо инженерно-геологические характеристики насыпных грунтов. Существующие классификации не в полной мере отражают многообразие техногенных и, в частности, насыпных грунтов, либо являются общими для всех техногенных отложений, либо являются устаревшими или имеют логические ошибки. Классификация М.И. Хазанова [128] одна из немногих дает представление об инженерно-геологических характеристиках грунтов, но совершенно не учитывает их генезис. Разработка типизации насыпных грунтов городских территорий, учитывающей условия и факторы формирования состава, строения и свойств грунтов, необходима для их более эффективного изучения.

Как было описано в главе 4, на формирование состава, строения и свойств насыпных грунтов влияют как генетико-морфологическими особенностями исходных грунтов в естественном залегании, так и технология и давность отсыпки, поэтому автором была разработана собственная типизация, учитывающая этот факт.

На основании детального изучения насыпных грунтов территории г. Москвы и с учетом изложенного выше (см. главу 3) таксономического подразделения была составлена их типизация (табл. 5.1). Ввиду сложности отображения большого по объему материала в компактном виде, в таблице представлена **схема** типизации, где прописаны выявленные на территории города группы, подгруппы, типы насыпных грунтов, дана краткая характеристика последних (состав, строение, некоторые инженерно-геологические особенности, распространение, формируемые мощности), а также для каждого типа указаны наиболее часто встречающиеся виды грунтов.

---

<sup>3</sup> При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

1. **Абакумова, Н. В.** Типизация насыпных грунтов Московской агломерации / **Н. В. Абакумова** // Инженерная геология. – 2022. – Т. 17. – № 2. – С. 6-26. Импакт-фактор РИНЦ 2022: 0,256. Объем публикации: 1,7 п.л., объем вклада соискателя: 1,7 п.л.

Схема инженерно-геологической типизации насыпных грунтов территории г. Москвы

Группа (по виду деятельности)	Подгруппа (по способу образования)	Тип (по результату хозяйственной деятельности)	Характеристика грунтов			Вид (по литологическому составу)	Свойства грунтов*				
			вещественный состав	распространение	максимальные мощности толщ, м		ρ, г/см <sup>3</sup>	W <sub>e</sub> , %	φ, град.	C, кПа	E <sup>**</sup> , МПа
Инженерно-строительные	планомерно возведенные насыпи из природных грунтов и грунтовых смесей	грунты насыпей линейных сооружений	переотложенные природные грунты, оптимальные грунтовые смеси, «мытый» песок с единичными антропогенными включениями	линейное	до 20	песчаные	1,67-2,01 (1,84)	4-21 (12)	20-39 (33)	1-4 (3)	18,1-57,2 (32,9)
						глинистые	1,90-2,18 (1,99)	13-41 (22)	21-29 (24)	14-52 (33)	10,4-32,0 (22,1)
		грунты песчаных подушек, обратных засыпок и насыпных территорий	переотложенные природные грунты	локальное, площадное	до 15	песчаные	1,87-2,03 (1,95)	14-17 (15)	35-37 (36)	3-5 (3)	20,3-62,8 (41,3)
		грунты гидротехнических сооружений	переотложенные природные грунты, часто с противofильтрационным глинистым ядром	локальное, линейное, площадное	до 30	преимущественно песчаные, реже крупнообломочные, глинистые	-	-	-	-	-
		грунты защитных экранов хранилищ коммунальных и промышленных отходов	переотложенные природные грунты, грунтовые смеси, химически модифицированные	локальное, площадное	до 1-2	глинистые	Коэффициент фильтрации от 0,5×10 <sup>-5</sup> до 2,4×10 <sup>-5</sup> м/сут				
	планомерно возведенные насыпи из строительных отходов	грунты планировки территории	переотложенные местные природные грунты с примесью строительного мусора	локальное, площадное	до 5	песчаные	-	7-17	18-36	1-16	3,5-21,7
						глинистые	1,79-2,20	11-22	14-25	27-55	2,6-25,0
		грунты полигонов приема строительных отходов	переотложенные природные грунты, часто со строительным мусором	локальное, площадное	до 40	преимущественно глинистые	1,81-2,22	7-31	13-26	1-87	2-29
	стихийно отсыпанные строительные отходы	грунты несанкционированных отвалов из котлованов и транспортных тоннелей	переотложенные природные грунты, часто со строительным и бытовым мусором, повышенным содержанием органического вещества	локальное, площадное	до 30	крупнообломочные	1,64-2,02 (1,71)	6-20 (9)	-	-	-
						песчаные	1,61-1,65 (1,63)	7-9 (8)	37-39 (38)	-	12,6-20,8 (15,8)
						глинистые	1,83-2,23 (2,06)	12-32 (19)	25-28 (26)	35-39 (36)	11,5-18,7 (14,6)
		грунты разрушенных строительных конструкций и дорожных покрытий	крупногабаритные бетонные плиты, фрагменты металлических конструкций, древесина, битый кирпич, камень, стекло, полимерные изделия и др.	локальное	(идут в переработку)	блочные, крупнообломочные, реже песчаные	Идут в переработку				

Группа (по виду деятельности)	Подгруппа (по способу образования)	Тип (по результату хозяйственной деятельности)	Характеристика грунтов			Вид (по литологическому составу)	Свойства грунтов*				
			вещественный состав	распространение	максимальные мощности толщ, м		ρ, г/см <sup>3</sup>	We, %	φ, град.	C, кПа	E**, МПа
Хозяйственно-бытовые	плановомерно и стихийно отсыпанные коммунальные отходы	грунты полигонов ТКО и несанкционированных свалок	пестрая свалочная смесь хозяйственно-бытовых отходов, пересыпанных переотложенными грунтами, с повышенным содержанием органического вещества	локальное	до 45	песчаные	1,75-1,79 (1,77)	6-10 (8)	34-35 (34)	4-7 (6)	18,4-20,4 (19,0)
						глинистые	1,62-2,10 (1,99)	13-37 (23)	14-24 (19)	9-39 (19)	3,1-8,0 (4,5)
	стихийно отсыпанные бытовые отходы и природные грунты	грунты-осадки сточных вод	переотложенные иловые осадки сточных вод, отходы снегоплавильных, с высоким содержанием органического вещества	локальное	до 30	глинистые	1,07-1,38	40-300	2-7 до 22	3-6 до 28	0,029-0,122
		грунты культурного слоя	беспорядочное переслаивание переотложенных природных грунтов с хозяйственно-бытовыми и строительными отходами (включая артефакты), с повышенным содержанием органического вещества	площадное	до 25	песчаные и глинистые с крупнообломочными включениями	1,50-1,90	-	-	-	0,5-8,0
Промышленные	плановомерно и стихийно отсыпанные промышленные отходы	грунты-отходы металлургической промышленности	металлургические шлаки, часто идут вперемешку со строительными отвалами грунтов, золой, содержат оплавленный металл	локальное	до 15	крупнообломочные, песчаные	1,39-2,00	5-30	16-29	18-55	14,0-29,0
		грунты-отходы топливно-энергетической промышленности	золы, золошлаки, часто с примесью строительного мусора	локальное, площадное	до 14	песчаные	1,33-1,56 (1,45)	12-66 (36)	27-36 (33)	0-43 (14)	5,9-33,0 (18,7)
Смешанного генезиса	плановомерно возведенные насыпи из природных грунтов и промышленных отходов	грунты строительных насыпей с примесью зол и шлаков	смеси переотложенных природных грунтов с золами и золошлаками	локальное, линейное	до 10	песчаные	1,70-1,89 (1,75)	17,4-21,0 (18,7)	27-36 (32)	15-29 (22)	8,5-12,4 (10,1)
	стихийно отсыпанные строительные, промышленные и бытовые отходы	грунты отвалов строительных, бытовых и промышленных отходов	пестрая смесь промышленных (металл, известь, древесина), бытовых отходов и переотложенных природных грунтов, с повышенным содержанием разлагающегося органического вещества	локальное, площадное	до 25	преимущественно крупнообломочные, реже песчаные и глинистые, с крупнообломочными включениями	требуется послойное определение				

Примечание:

\*приведены наименьшие и наибольшие значения показателей свойств грунтов, а в случаях, когда количество данных позволяло провести статистический анализ, в скобках приведено среднее значение.

\*\*модуль деформации приведен для интервала нагрузок 0,1-0,2 МПа

ρ - плотность грунта, г/см <sup>3</sup>
We - естественная влажность, %
φ - угол внутреннего трения, град.
C - сцепление, кПа
E - модуль деформации при нагрузке, МПа

## 5.2. Инженерно-геологические особенности выделенных типов насыпных техногенных грунтов на территории г. Москвы

### 5.2.1. Грунты насыпей линейных сооружений

Строительство линейных сооружений особенно таких, как автомобильные и железные дороги, не обходится без возведения насыпей. Неотъемлемым элементом любой крупной дороги является земляное полотно (рис. 5.1), предназначенное для размещения слоев дорожной одежды или железнодорожных путей. Оно является полноценным инженерным сооружением со сложным строением, включает в себя не только основное тело, отсыпанное из грунта, но и другие конструктивные элементы: капилляропрерывающие прослойки из крупнообломочных грунтов и искусственных гидрофобных материалов, армирующие элементы, водопропускные трубы, дренажные системы и т.д. Часто в насыпях располагаются фундаменты шумозащитных экранов, локальных очистных сооружений, элементов освещения, баннеров, а также светофоры, дорожные знаки, коммуникации. Для предотвращения эрозионных процессов откосы насыпей покрываются георешеткой или геотекстилем с последующей высадкой травянистой растительности.



Рисунок 5.1. Процесс укладки земляного полотна при реконструкции МКАД, 1997 г. (фото ИТАР-ТАСС)

Линейные сооружения требуют колоссальных объемов грунтовых материалов. Насыпи возводятся даже для подъездных путей и развязок хорд Москвы, представляющих из себя в основном эстакады на высоких опорах со свайными фундаментами. Так, для строительства 60 км трассы при ширине основания 35 м, ширине дорожного полотна 27 м и средней высоте насыпи 3,4 м необходимо более 6300 тыс. м<sup>3</sup> грунтов. Например, на некоторых участках пускового комплекса №4 Центральной кольцевой автомобильной дороги (ЦКАД) мощность насыпей достигает 17,1 м.

По данным Росстата [164] длина дорог в РФ увеличивается стремительными темпами. Только в г. Москве в 2021 г. протяженность федеральных трасс возросла почти в два раза за счет ввода в эксплуатацию 22-километрового участка ЦКАД-1, проходящего по территории Новой Москвы. На сегодняшний день протяженность автомобильных дорог общего пользования в г. Москве составляет 6 819,3 км, железнодорожных путей – 501,4 км.

Источником грунтов для дорожных и железнодорожных насыпей являются расположенные вблизи участков строительства карьеры. Экономически целесообразно использование грунтов из карьеров, находящихся на удалении не более 30 км от площадки строительства. Выемки, образующиеся при планировке рельефа, также могут служить источником строительного материала. Так, на ЦКАД-3 в районе пос. Икша трехуровневая выемка глубиной до 20,5 м и протяженностью 1973 м снабдила строительство более 2 млн м<sup>3</sup> песка [156].

Наибольшее применение находят четвертичные пески аллювиального и флювиогляциального генезиса в связи с их широким распространением в регионе и высоким качеством. Дочетвертичные пески морского генезиса используются значительно реже, т.к. содержат более 90 % SiO<sub>2</sub> и обладают однородным гранулометрическим составом, благодаря чему являются ценным сырьем для стекольной промышленности. Однако, в ряде случаев на месторождениях стекольных песков верхние горизонты сильно ожелезнены, что переводит их в класс некондиционных и пригодных только для дорожного строительства.

Глинистые грунты применяются только на небольших участках нескоростных дорог, т.к. длительный процесс консолидации, высокая пучинистость и сильная зависимость условий отсыпки от консистенции затрудняют их использование. При достаточном количестве песчано-гравийного материала на территории г. Москвы основным фактором применения глинистых грунтов является экономический.

На территории г. Москвы и Московской области по данным ФГБУ «Росгеолфонд» [157] разведано более 476 месторождений строительных песков и песчано-гравийного материала, которые по большей части сосредоточены на севере, востоке и юго-востоке либо на западных окраинах. В это же время наблюдается обилие глинистого материала на юго-западе территории,

что отражается и на составе строительных насыпей. Так, в 2011 году переотложенными флювиогляциальными тяжелыми суглинками были отсыпаны дороги в поселке завода Мосрентген. Мощность насыпей достигает 5 м, местами дороги проходят по засыпанной долине р. Сосенки (см. главу 4).

В насыпи грунты укладываются с оптимальной или близкой к ней влажностью, которая варьирует для разных по составу и дисперсности грунтов и определяется с помощью методик, описанных в учебном пособии по технической мелиорации грунтов [78]. При несоответствии имеющихся вблизи строительства грунтовых материалов проектным требованиям при убедительном экономическом обосновании могут применяться оптимальные грунтовые смеси 7-15% глины ( $< 0,005$  мм – связующий материал), 20-35% пыли (0,005-0,05 мм – заполнитель) и 55-73% песка ( $> 0,05$  мм – «каркас» грунта), которые имеют максимальные значения плотности скелета и минимальные значения пористости. Число пластичности,  $I_p$ , таких грунтов находится в пределах 0-6, влажность нижнего предела пластичности,  $W_p$ , 2-7%, липкость,  $L_{max}$ , до 80 г/см<sup>2</sup>, линейная усадка – 1-3% [22, 78].

Таким образом, грунты насыпей линейных сооружений сложены техногенно перемещенными песчаными и глинистыми грунтами, часто оптимальными грунтовыми смесями с заданными свойствами, «мытыми» песками с единичными антропогенными включениями. Грунты данного типа имеют линейное распространение, на территории г. Москвы их мощность не превышает 20 м. Характерные для данного типа насыпных грунтов физические и физико-механические характеристики приведены в таблице 5.1.

### **5.2.2. Грунты песчаных подушек, обратных засыпок и насыпных территорий**

*Песчаные подушки* отсыпаются с целью замены слабых грунтов (илов, текучих пылевато-глинистых, торфов, заторфованных, слабо уплотненных насыпных или пучинистых грунтов) для повышения несущей способности основания. В качестве материала хорошо подходят переотложенные природные грунты с высоким сопротивлением сдвигу и низкой сжимаемостью: крупные и средней крупности пески, реже используются крупнообломочные грунты (дресва/щебень).

Экономически целесообразно создавать подушку мощностью 1-3 м. Если мощность слабых грунтов превышает 3 м, то допускается создавать «висячую» подушку либо увеличивать мощность отсыпки. В любом случае таким образом можно добиться уменьшения осадки основания [127]. Песчаная подушка располагается на дне котлована. Подошва заглубляется на необходимую величину и выравняется по проектной отметке либо имеет ступенчатую поверхность, кровля имеет отметку дна котлована.

*Обратные засыпки* необходимы для заполнения пазух фундаментов жилых и производственных помещений, коммуникаций, тоннелей. Также производится обратная засыпка демонтажных камер проходческих щитов и тоннелей новейших веток метрополитена, построенных «открытым способом» (рис. 5.2). Такие станции имеются на периферии Москвы, где достаточно свободного места для реализации строительства именно таким способом (например, перегон от Саларьево до Коммунарки и далее).



Рисунок 5.2. Процесс обратной засыпки котлована оборотных тупиков, ст. Кленовый бульвар, Большая кольцевая линия (фото «Развитие Метрополитена и Транспорта в Москве»<sup>4</sup>)

В среднем мощность обратных засыпок не превышает 15 м, но в некоторых случаях она может быть существенно большей. Так, в практике Московского метрополитена самой глубокой является переходная камера на проспекте Андропова Большой кольцевой линии, сооруженная открытым способом. Её глубина составляет 40 м, и по окончании монтажных работ она была полностью засыпана грунтом.

Насыпи данного типа, как и предыдущего, укладываются в соответствии с проектными и нормативными требованиями из специально привезенных гуртов и, реже, оставшихся после проходки котлована. Допустимо попадание инертных обломков строительных материалов, но в соответствии с СП 45.13330.2017 [118] размер обломков не должен превышать 2/3 уплотненного слоя и не более 15 см для песчаных подушек и 30 см для остальных насыпей. Содержание комьев мерзлого грунта допускается в количестве не более 20-30 %, однако, дополнительные исследования показывают, что участки, отсыпанные с мерзлыми комьями, впоследствии имеют неравномерное распределение плотности с областями грунтов рыхлого сложения [132].

<sup>4</sup> URL: [https://vk.com/razvitie\\_metro\\_msk](https://vk.com/razvitie_metro_msk)

*Насыпные территории* возникают при отсыпке целых кварталов или производственных площадок. Например, в районе Братеево на подтопленной пойме рек Москвы и Городни с целью размещения электродепо была отсыпана территория площадью  $0,32 \text{ км}^2$  со средней мощностью  $5,9 \text{ м}$ . (рис. 5.3, а). В новом районе Некрасовка насыпная территория была образована в процессе замены слабых грунтов – иловых осадков карт очистных сооружений. Площадь насыпи составила  $0,34 \text{ км}^2$  со средней мощностью  $4,6 \text{ м}$  (рис. 5.3, б).

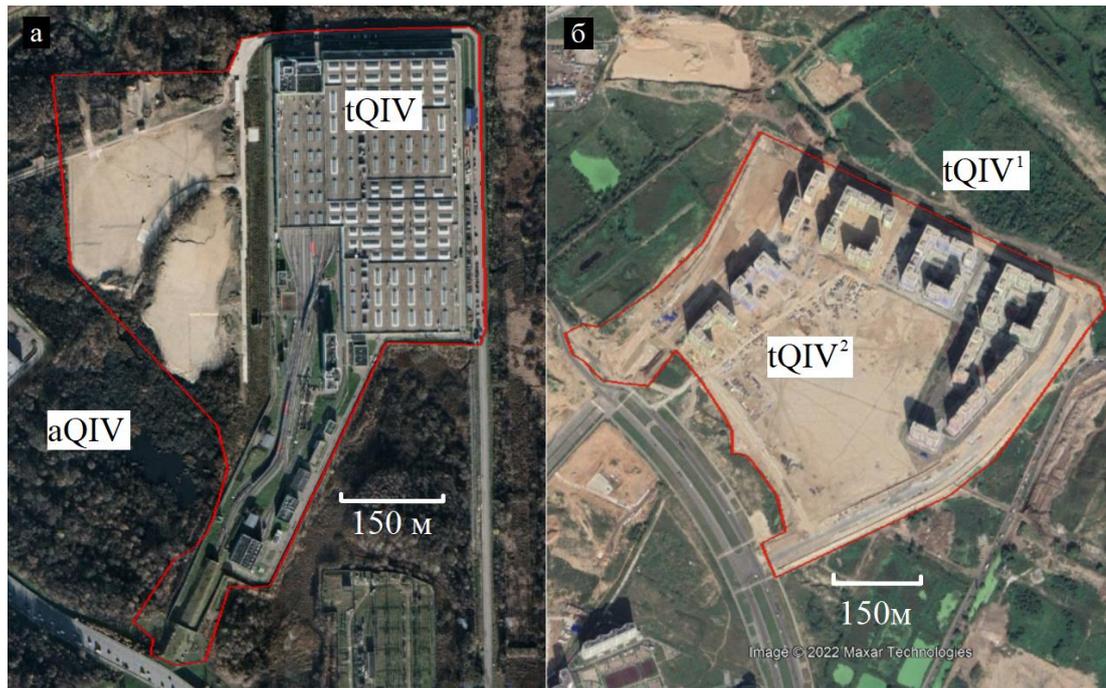


Рисунок 5.3. Насыпные территории: а – электродепо Братеево; б – жилой район Некрасовка (Google Earth Pro)

Уплотнение грунтов ведется виброуплотнителями, катками, трамбовками [73] и позволяет достичь высоких показателей физико-механических свойств [132]. Плотность описанных насыпных грунтов составляет  $1,87\text{-}2,03 \text{ г/см}^3$  (в среднем  $1,95 \text{ г/см}^3$ ), естественная влажность –  $14\text{-}17\%$ , высокие деформационные и прочностные характеристики: модуль деформации составляет  $20,3\text{-}62,8 \text{ МПа}$  ( $41,3 \text{ МПа}$ ), угол внутреннего трения –  $35\text{-}37 \text{ град.}$ , сцепление –  $3\text{-}5 \text{ кПа}$ . Насыпные грунты данного типа имеют локальное, в пределах одного сооружения, и площадное распространение, если производилась отсыпка целого квартала.

### 5.2.3. Грунты гидротехнических сооружений

Комплекс гидротехнических сооружений г. Москвы включает в себя множество земляных насыпей, среди которых дамбы и плотины Канала имени Москвы, Восточного водопроводного канала, плотины водохранилищ и электростанций (Рузская ГЭС-2, Верхне-Рузская ГЭС-33, Ивановская ГЭС, Загорская ГАЭС и др.), а также небольшие плотины сельскохозяйственного и технического назначения.

При строительстве канала им. Москвы было использовано 44,9 млн м<sup>3</sup> насыпного грунта, почти все насыпи были возведены послойной отсыпкой с уплотнением и трамбовкой, лишь 4% «насыпей» возведены путем намыва. Поскольку одним из принципов возведения насыпей на данном объекте было использование местных грунтовых материалов, то за неимением суглинков, которые требовались для устройства гидроизоляционных экранов, допускалось использование местных торфяных грунтов. Всего при строительстве канала было использовано свыше 1 млн м<sup>3</sup> торфа.

Для тела плотин и дамб назначались различные грунты, удовлетворяющие проектным требованиям по показателям сопротивления сдвигу и коэффициента фильтрации: юрские супеси и суглинки, аптские пески, моренные и делювиальные пески и т.д. Для более ответственных частей плотин – экранов, ядер, диафрагм, оторочек – использовались водоупорные и устойчивые на сдвиг моренные суглинки и супеси, а также делювиальные средние и легкие суглинки. Если приходилось использовать торфяные грунты, то их тщательно перемешивали, подвергали послойной укладке и хорошему уплотнению [59].

#### **5.2.4. Грунты защитных экранов хранилищ коммунальных и промышленных отходов**

Подстилающие и перекрывающие экраны промышленных и хозяйственно-бытовых отходов призваны защитить окружающую среду от разноса ветром и водными потоками загрязняющих веществ, предотвратить формирование фильтрата и его перетекание в водоносные горизонты. Из-за непосредственного контакта с отходами такие грунты часто содержат в себе высокое количество токсикантов, а также биогаз в поровом пространстве. Применение противofильтрационных экранов требуется при строительстве полигонов ТКО, золоотвалов для снижения фильтрационного расхода иловых карт на очистных станциях.

На сегодняшний день существуют экраны с различным строением: от многослойных сооружений с применением геотекстиля до обычных грунтовых экранов, сложенных хорошо уплотненными глинистыми отложениями с низкими коэффициентами фильтрации [106].

На практике используется три типа грунтовых экранов – однослойные, двухслойные с дренажной прослойкой и грунтобитумно-бетонные. В первом случае глинистый грунт с коэффициентом фильтрации не выше 0,001 м/сут укладывается слоями по 25-30 см, уплотняется до 1,60-1,65 г/см<sup>3</sup> и перекрывается защитным слоем из местного грунта толщиной 0,2-0,3 м. Мощность экрана должна быть не менее 0,5 м. В двухслойных экранах между слоями глины мощностью не менее 0,5 м укладывается дренаж толщиной 40-60 см из крупного песка. В грунтобитумных экранах грунты обрабатываются на глубину 10-15 см жидким битумом или нефтью с добавлением цемента и уплотняются катками [77].

Глиняные экраны – наиболее простые, надежные и долговечные противofильтрационные устройства. При наличии местных глинистых грунтов их применение является наиболее экономичным и целесообразным. Так, на экспериментальном полигоне Каргашино в Московской области проводились испытания экрана из вскрыши, представляющей из себя смесь покровных и моренных суглинков [13]. Уплотнение смеси при оптимальной влажности разными методами позволило достичь плотности  $1,88 \text{ м}^3$  с коэффициентом фильтрации от  $0,6 \times 10^{-10}$  до  $2,8 \times 10^{-10}$  в среднем  $1,7 \times 10^{-10} \text{ м} \backslash \text{сут}$ .

При этом широко распространенные на территории г. Москвы юрские глинистые отложения являются не лучшим вариантом для создания противofильтрационного экрана ввиду своей очень низкой уплотняемости. То есть в естественном залегании такие грунты являются хорошими основаниями и прочными водоупорами, а нарушение их природного сложения при разработке, перемещении и отсыпке приводит к появлению трещиноватости и набуханию.

### 5.2.5. Грунты планировки территории

Подготовительным этапом любого строительства является снятие почвенно-растительного слоя и планировка участка. Если территория ранее была освоена, то сначала производится снос зданий и сооружений. Это необходимо для удобства маневрирования строительной техники, размещения временных сооружений, хранения стройматериалов. По завершению строительства производится благоустройство территории, которое заключается в окончательном выравнивании поверхности, высадке газонов, устройстве тротуаров, автомобильных стоянок, автобусных остановок, детских площадок и т.д. (рис. 5.4).



Рисунок 5.4. Свежеотсыпанные грунты планировки территории на разделительной полосе Раменского бульвара, район Раменки (фото автора)

В процессе всех этих мероприятий формируется слой насыпных грунтов мощностью до 5 м, в среднем 1,5-2,5 м, покрывающий городскую территорию практически повсеместно. Наряду с грунтами насыпей линейных сооружений грунты планировки территории являются наиболее часто встречаемым типом насыпных грунтов в пределах города.

Такие насыпи представляют из себя смесь местных залегающих с поверхности природных грунтов, оставшихся после выемки из котлованов и обратной засыпки в пазухи фундаментов, и небольшого количества строительного мусора (обломков кирпича, бетона, угля, стекла, древесины). Представлены неоднородными по строению песчаными и глинистыми грунтами, содержание крупнообломочной части может достигать 20-25 %.

Грунты планировки относятся к подгруппе планомерно возведенных насыпей из строительных отходов, однако, единственным документом, нормирующим их укладку, является СП 82.13330.2016 «Благоустройство территорий» [121]. Производится уплотнение грунтов, хоть и не очень тщательное, что отражается в высокой изменчивости и низких значениях показателей деформационных и прочностных свойств. Модуль деформации редко превышает 20 МПа песчаных грунтов и 15 МПа у глинистых.

Планировка территории также включает в себя засыпку оврагов и русел рек. По мере исторического развития архитектурного облика Москвы существующие реки, ручьи и овраги заполнялись бытовым и промышленным мусором: в древности в водотоки сваливали мусор, промышленные отходы, снег. Поэтому содержимое оврагов исторического центра города можно смело относить к грунтам культурного слоя (см. далее). Уже к началу XX в. были засыпаны все овраги центральной части города и некоторые на периферии.

Начиная с XX в., когда активно стали застраиваться окружные части Москвы, встал вопрос о засыпке крупных оврагов долин таких рек, как Кровянка, Чура, Сетунь, Чертановка, Копытовка, Котловка, Ходынка, Таракановка и, при необходимости, самих водотоков. Еще в 1938 г. Н.А. Корчебоков и С.К. Абрамов предложили четыре схемы преобразования рельефа в зависимости от глубины и ширины оврагов. Во всех схемах на дно рекомендовалось укладывать дренажную трубу, а нижний слой отсыпать песком [62]. Основное пространство рекомендовалось заполнять глинистым грунтом, которого на тот момент было достаточно в связи с активным строительством метрополитена. И действительно, по данным старых планов Москвы и спутниковых снимков в 1960-е гг. были засыпаны крупные овраги.

Грунты планомерно засыпанных оврагов отличаются очень плотной укладкой материала, что сбивает с толку геологов во время проведения полевых работ. Практика показывает, что суглинки четвертичного возраста могут быть хорошо уплотнены. Показатели прочностных и деформационных свойств близки к природным, а иногда и превышают их. Иная ситуация

складывается с оврагами, засыпанными юрскими глинами. Изначально твердая консистенция и их способность набухать не позволяют добиться природной плотности даже при тщательном уплотнении.

### 5.2.6. Грунты полигонов приема строительных отходов

На территории Москвы официально зарегистрированы и эксплуатируются 73 полигона приема строительных отходов вместимостью от 100 тыс. м<sup>3</sup> (д. Калиновка, Ленинский р-н) до 8 741 тыс. м<sup>3</sup> (г. Подольск и Одинцовский г.о.), на которых ведется переработка отходов и складирование грунтов (рис. 5.5). Начиная с 2000-х полигоны активно принимают чистые и замусоренные грунты, лом асфальтобетона, лом железобетона и кирпича, полимерные отходы, несортированные отходы сноса сооружений, отходы древесины и стекла.



Рисунок 5.5. Полигон приема строительных отходов в Ново-Переделкино, вид с горнолыжного склона (фото автора)

Наибольшие объемы переотложенных грунтов поступают с площадок строительства новых веток метрополитена. По подсчетам автора только для Люблинско-Дмитровской и Арбатско-Покровской линий при их протяженности 38,3 и 45,3 км соответственно и диаметре тоннелей 6,14 м объем подземного пространства составляет более 5 млн. м<sup>3</sup>. При этом необходимо учитывать, что выемка приводит к разуплотнению грунтов в среднем в 1,5 раза, поэтому объемы грунтов превышают объемы выемочных пространств, что отражается на стоимости транспортировки и утилизации.

На территории г. Москвы тоннели метрополитена залегают на глубине до 73 м, а в среднем глубина их заложения составляет 24 м [167], поэтому в отвалы уходят все отложения, слагающие геологический разрез. Грунты представлены глинистыми отложениями с включениями обломков инертных строительных материалов, раздробленными карбонатными породами. Песчаные

грунты поступают на полигоны только в случае сильного загрязнения и невозможности их дальнейшего использования, т.к. обычно они находят потребителя еще на этапе планирования строительных работ.

В отличие от несанкционированных свалок строительных отходов, эти полигоны являются специально возведенными и террасированными для большей устойчивости сооружениями с организованной системой дренажа, откосы при необходимости закрепляются геосеткой или геотекстилем. На такие полигоны принимаются строительные отходы IV-V классов опасности, реже III [155]. В них попадает меньше мусора, меньше крупнообломочных частей. Органическое вещество содержится в количестве, соответствующем его содержанию в исходных природных грунтах, и аномально может встречаться в виде небольших гнезд и линз из-за попадания органического мусора.

### **5.2.7. Грунты разрушенных строительных конструкций и дорожных покрытий**

Отходы сноса зданий и сооружений также образуются в больших объемах и должны быть утилизированы. Большинство разрушенных строительных конструкций могут быть переработаны и вторично использованы. Бетон, асфальт, кирпич измельчаются до щебня, дресвы и песка с помощью дробилок (рис. 5.6) и применяются в качестве заполнителей бетонов, при отсыпке дорог и т.д. Часто встречаются в составе насыпей строительных отвалов в виде линз, слоев или отдельных включений.



Рисунок 5.6. Процесс дробления отходов сноса с целью вторичного использования [143]

### 5.2.8. Грунты культурного слоя

Термин «культурный слой» появился в научном мире из работ археологов, и по их определению – «культурный слой — это слой любой горной породы и почвы со следами деятельности человека, т. е. наличия в его толще различных артефактов». Понятие культурного слоя связывают с местами поселения минувших эпох. Культурные слои поселений фиксируются с момента появления первых стоянок древнего человека в раннем палеолите и формируются до настоящего времени.

Формирование культурного слоя связано с природными условиями местности и историей поселения, характером культурной и хозяйственной деятельности человека. Грунты неоднородны, содержат органическое вещество и относятся к слабым грунтам. Максимальная мощность грунтов культурного слоя в Москве составляет 25 м. Преобладают пески, второе место занимают супеси, третье – суглинки и глины. Состав включений исключительно пестрый (рис. 5.7). Это остатки строительных материалов и конструкций, а также археологические находки [95].



Рисунок 5.7. Грунты культурного слоя в основании административного здания на территории Кремля (фото В.П. Капитана)

За счет высокого содержания органического вещества грунты данного типа характеризуются пониженной плотностью твердых частиц: по данным Ф.В. Котлова она может снижаться до  $2,49 \text{ г/см}^3$ . Остальные плотностные показатели также занижены: плотность грунта варьирует в пределах  $1,50\text{-}1,90 \text{ г/см}^3$ ; коэффициент пористости –  $0,50\text{-}1,38$ . Органическое вещество повышает влажность грунтов и снижет модуль деформации [97, 102].

### 5.2.9. Грунты несанкционированных строительных отвалов

До организации специализированных пунктов приема строительных отходов практически все грунты из котлованов и тоннелей свозились на незастроенные территории на периферии города. Отсыпка велась стихийным способом, не производилось извлечение подверженного разложению строительного мусора, часто в отвалы сбрасывались бытовые отходы. В ходе этого возникли несанкционированные строительные отвалы и свалки, многие из которых впоследствии оказались на территории г. Москвы.

Грунты залегают в виде холмов, заполняют карьеры, овраги, уступы речных долин. Из-за хаотичной отсыпки имеют низкую степень уплотненности, крайне неоднородный состав, происходит неконтролируемое смешение природных грунтов и строительных отходов при перемещении (рис. 5.8), часто попадает бытовой мусор. Встречаются крупные обломки бетонных плит, под которыми образуются пустоты, о чем говорит провал бурового инструмента во время полевых работ. Данное явление не раз встречалось при производстве инженерно-геологических изысканий на площадке строительства жилого комплекса на Озёрной ул. (г. Москва). Наибольшая вскрытая полость имеет мощность 1,5 м и находится на глубине 11 м при максимальной мощности техногенных отложений 18,8 м.



Рисунок 5.8. Включения обломков кирпича и раздробленного известняка в смеси переотложенных природных грунтов, Бибиревская ул., г. Москва (фото А.В. Бершова)

В 2003-2007 гг. М.А. Викторовой на кафедре инженерной и экологической геологии проводилось детальное изучение грунтов данного типа с оценкой их газогенерирующей

способности [24]. Исследования показали тенденцию изменения газового компонента грунтов, характерную для полигонов ТКО, но с более низким содержанием биогаза.

Грунты несанкционированных строительных отвалов являются крайне ненадежными основаниями, поэтому лучшим планировочным решением являлась их застройка гаражными кооперативами, которые на сегодняшний день активно замещаются жилыми комплексами. Так, в состав строительного отвала мощностью до 12 м, расположенного в р-не Раменки, входят переотложенные четвертичные моренные и флювиогляциальные отложения, а также каменноугольные глины и раздробленный известняк. Переотложенные грунты имеют низкую плотность, повышенную пористость, склонны к насыщению водой и резкому снижению прочностных и деформационных характеристик грунтов.

#### **5.2.10. Грунты полигонов твердых коммунальных отходов и несанкционированных свалок**

Ежегодно на полигоны Московской области поступает более 7 млн. т. отходов [65]. При этом в соответствии с распоряжением Министерства жилищно-коммунального хозяйства Московской области от 20.09.2021 № 431-РВ «Об утверждении нормативов накопления твердых коммунальных отходов на территории Московской области» среднегодовой норматив накопления ТКО в год, например, для домовладений составляет 1,45 м<sup>3</sup> (0,272 т) на одного проживающего. Поскольку система раздельного сбора мусора в России только развивается, полигоны и свалки будут функционировать еще продолжительное время и впоследствии потребуют рекультивации. В настоящее время на территории г. Москвы запрещено размещение полигонов ТКО. Полигоны, действовавшие ранее, рекультивированы.

На полигонах мусор послойно уплотняется и перекрывается глинистым грунтом во избежание возгорания, образования фильтрата и разноса мусора ветром и пр. Исследования показывают, что образованию фильтрата подвержены полигоны высотой до 10 м [21]. Для отсыпки перекрывающих слоев используются строительные грунты либо специально организованные карьеры вблизи полигона (рис. 5.9).

В процессе существования свалки или полигона переотложенные природные грунты смешиваются с мусором и становятся техногенно образованными грунтами. Разложение органического вещества в составе отходов приводит к образованию фильтрата и газогенерации, которая по данным А.М. Гальперина может достигать 350-450 м<sup>3</sup> на 1 тонну мусора. В состав газового компонента грунтов входят метан, окись углерода, азот, аммиак, сероводород и др. [97].

Грунты данного типа отличаются сильной неоднородностью. Массивы имеют слоистое, линзовидное и хаотическое строение. Коэффициент неоднородности их гранулометрического состава и сама дисперсность существенно увеличиваются со временем. Плотностные и физико-

механические характеристики весьма низкие за счет влияния органического вещества (8,1-33,5 %), но закономерно возрастают по мере слеживания грунтов [97].

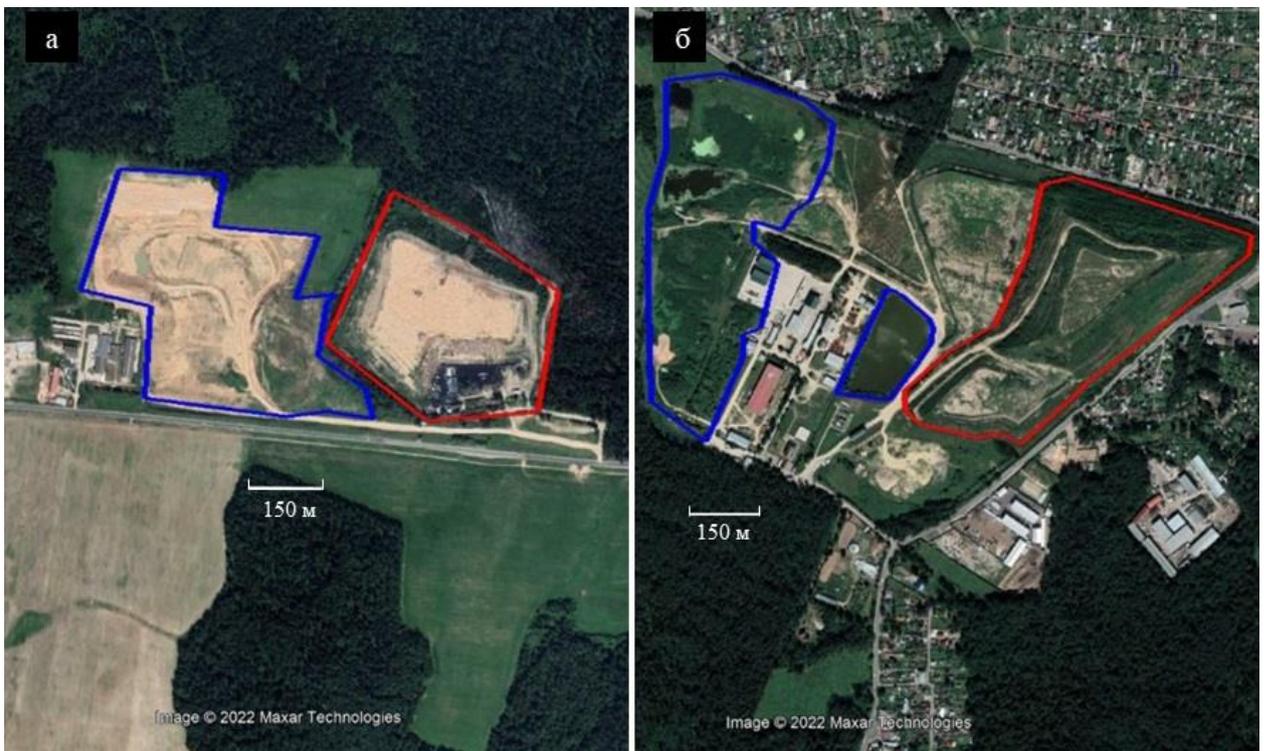


Рисунок 5.9. Территории полигонов ТКО: а – «Тимашево»; б – «Торбеево». Синим контуром обозначены карьеры по добыче грунтов для пересыпки отходов, красным – контуры полигона (Google Earth Pro)

### 5.2.11. Грунты-осадки сточных вод

Процесс очистки сточных вод происходит в несколько этапов. Первичный осадок извлекается на первых стадиях, очищается и утилизируется специальным образом, как опасный отход. Далее в дело вступает песколовка, которая собирает минеральный дисперсный материал. Он очищается и вывозится на полигоны ТКО. Остальная взвесь поступает на поля аэрации, поля орошения или современные широкие резервуары, где суспензия подвергается естественному выпариванию. Поскольку такой осадок не считается опасным, то также утилизируется на полигонах ТКО, где мощность переотложенных осадков превышает 3,5 м. Переотложенные иловые осадки встречаются и в засыпанных оврагах, где их мощность достигает 30 м.

По данным В.Н. Широкова и М.Б. Куринова [135] осадки полей орошения Марьинского парка представляли собой тяжелую глину текучей консистенции с относительным содержанием органического вещества 20 %, с плотностью твердых частиц 1,83-2,00 г/см<sup>3</sup>, плотностью грунта 1,07-1,38 г/см<sup>3</sup>. При влажности от 300 до 4 % сцепление, угол внутреннего трения и модуль деформации составляли соответственно 2-7 град., 3-6 кПа и 29-122 кПа. При застройке микрорайона данные грунты также были переотложены на полигоне ТКО.

### 5.2.12. Грунты-отходы металлургической промышленности

При переработке руды используются жаропонижающие добавки – флюсы (известняк, известь, глина), которые вместе с остальными неметаллическими компонентами образуют шлаки [93]. Накопление металлургических шлаков на территории Московского региона связано с деятельностью заводов «Серп и Молот», «Электросталь», «Мосэлектрофольга», ЗиЛ, завода им. Войкова и др. [95].

Шлаки состоят из оксидов кремния, кальция, алюминия, магния, небольшого количества закиси железа и марганца, а также сульфидов металлов. Они представляют собой гранулированный дисперсный материал, песчаной или крупнообломочной размерности. Имеют повышенную плотность твердых частиц за счет металлических остатков. При этом имеют низкую плотность (за счет пустотности), но хорошо поддаются уплотнению, за счет чего повышаются и физико-механические характеристики (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Изменение инженерно-геологических характеристик шлаков в результате уплотнения по [84]

Показатели свойств	До уплотнения	После уплотнения
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,39-1,40	1,99-2,00
Модуль деформации, МПа	14,0	27,0
Сцепление, МПа	0,018	0,055
Угол внутреннего трения, град.	16	29

На сегодняшний день шлаки перерабатываются в щебень и используются в разных сферах – от отсыпки дорог в коттеджных поселках до бетонных наполнителей и очистки вод от загрязнений. Но часть шлаков так и осталась погребенной в грунтовых массивах. Так, территория нынешней Нагатинской поймы, соседствующая с заводом имени И.А. Лихачева, еще в 1942 году представляла собой сильно заболоченную местность и очень быстро стала местом свалки промышленных отходов. При бурении скважин прослой металлургических шлаков встречаются на данной территории и по сей день.

### 5.2.13. Грунты-отходы топливно-энергетической промышленности

Несмотря на то, что отвалы отходов топливно-энергетической промышленности превышают объемы фосфогипса и занимают более высокое положение в типизации, они описываются последними в своей подгруппе. Автором это сделано намеренно, чтобы провести переход к описанию типа «грунты строительных насыпей с примесью зол и золошлаков».

Золы и золошлаки – это основные отходы тепловых станций (ТЭС, ГРЭС, ТЭЦ), образующиеся в результате сжигания твердого топлива (бурых и каменных углей, антрацита, торфа). Наиболее распространенным является гидромеханизированный способ удаления продуктов сжигания из топок, в ходе чего формируются массивы намывных грунтов. Однако, в

практике имеется и способ «сухого» удаления с образованием насыпных грунтов. Его примером может служить отвал ТЭЦ-12, расположенный вдоль железнодорожных путей киевского направления.

В насыпных золах ТЭЦ-12 попадают небольшие линзы переотложенных природных грунтов, обломки кирпича, бетона, единичный строительный и бытовой мусор. По минеральному составу золы схожи с цементом, относительное содержание органического вещества (это «недожог») достигает 22 %, в среднем около 12 %. По данным инженерно-геологических изысканий грунты являются неоднородными пылеватыми песками с крупнообломочными включениями (в среднем около 9 %).

Помимо теплоэлектростанций (и до их строительства) образование зол и золошлаков происходило по всему городу, но уже в более мелких масштабах. Городские здания, промышленные предприятия и жилые дома отапливались котельными и печами. В 1920-е годы в Москве было 6 тыс. котельных и 500 тыс. печей, отапливаемых донецким углем, нефтью и дровами. В 1958 г. оставалось 2740 угольных котельных [88], и к 1980-м годам их полностью вытеснило централизованное отопление [101]. Именно с этим связана такая высокая встречаемость частиц угля в грунтах планировки территории, а иногда при бурении в спальных районах встречаются целые линзы золы.

#### **5.2.14. Грунты строительных насыпей с примесью зол и золошлаков**

Большинство ТЭЦ Московского региона уже перешли на газ и мазут, однако, золоотвалы продолжают занимать значительные площади (табл. 5.3). Часть золоотвалов уже застроена, но некоторые из них вполне могут стать источником вторичного сырья. Одним из перспективных направлений использования огромных объемов отходов тепловых станций является дорожное строительство [77, 90].

Золы практически не используются в чистом виде, т.к. представляют собой несвязный пылеватый материал с низким коэффициентом фильтрации, склонный к разжижению, поэтому из них формируются оптимальные смеси зол с природными грунтами или менее дисперсными отходами (см. тип «грунты насыпей линейных сооружений»).

Таблица 5.3

Время работы и площади золоотвалов крупнейших тепловых станций г. Москвы и Московского региона

№п/п	ТЭЦ	Год основания	Год отказа от твердого топлива	Время работы на угле	Площадь, м <sup>2</sup>
1	ТЭЦ-11	1936	1957	21	83935
2	ТЭЦ-12 (Фрунзенская)	1941	-	-	124308 (сухой отвал) 127880 (гидрозолоотвал)
3	ТЭЦ-16 (Ленинградская)	1955	1982	27	114022
4	ТЭЦ-20 (Калужская)	1952	1969	17	118559
5	ТЭЦ-22 (Люберецкая)	1960	2020	60	658994
6	ТЭЦ ЗиЛ	1937	-	-	82875
7	ГРЭС-3 (Электропередача)	1914	1985	71	127457
8	ТЭЦ-17 (Ступинская)	1950	2014	64	1634024
9	Шатурская ГРЭС	1920	по н.в.	102	1361931
10	Каширская ГРЭС	1922	2021	99	1033587

Так, при строительстве транспортной развязки и переезда через железную дорогу на перегоне Михнёво-Жилево была использована смесь золы Каширской ГРЭС и шлака в соотношении 4:1. Золами ТЭЦ-22 отсыпаны подъездные пути Братеевского моста в г. Москве [94].

#### 5.2.15. Грунты отвалов строительных, бытовых и промышленных отходов

К данному типу следует относить сильно неоднородные толщи, которые образовались в ходе смешения грунтов нескольких типов. Их невозможно однозначно отнести к определенному типу из-за их невероятно высокой неоднородности и пестрого состава. В керне скважины могут попадаться асфальт, кирпич, опилки, шлак, зола, стекло, металлический мусор, древесина, переотложенные грунты и т.д. Порой, грунт может полностью состоять из промышленного и бытового мусора. Такие грунты имеют неприятных запах разлагающегося органического вещества и горюче-смазочных материалов. Возможно, их даже стоит считать аналогом грунтов культурного слоя современной, промышленной эпохи.

Примером массивов, сложенных грунтами данного типа, являются территории бывшего Бадаевского пивоваренного завода и завода Мосэлектрофольга, где мощность техногенных отложений достигает 12 и 24 м соответственно. Определение свойств таких грунтов в лабораторных исследованиях практически невозможно и почти никогда не производится, т.к. при строительстве грунты данного типа извлекаются и перевозятся на полигоны ТКО.

### 5.3. Выводы к главе 5

1. Составленная региональная типизация в полной мере отражает многообразие насыпных грунтов территории г. Москвы, учитывает не только их генетические особенности, условия залегания в массиве, но и инженерно-геологические параметры. В основу типизации лег основной закон грунтоведения, согласно которому формирование состава, строения, состояния и свойств грунтов определяется их генезисом, характером постгенетических преобразований и пространственным положением [125]. В отношении насыпных грунтов под генезисом понимается цель и способ отсыпки.

2. Насыпные грунты подразделяются на таксоны по следующим признакам:

- группы – по виду хозяйственной деятельности (инженерно-строительные, хозяйственно-бытовые, промышленные, смешанного генезиса);
- подгруппы – по способу образования (планомерно возведенные насыпи из природных грунтов и грунтовых смесей, из строительных отходов, стихийно отсыпанные строительные отходы, планомерно и стихийно отсыпанные коммунальные отходы, стихийно отсыпанные бытовые отходы и природные грунты, планомерно и стихийно отсыпанные промышленные отходы, планомерно возведенные насыпи из природных грунтов и промышленных отходов, стихийно отсыпанные строительные, промышленные и бытовые отходы);
- типы – по непосредственному результату хозяйственной деятельности (основная таксономическая единица);
- виды – по литологическому составу (крупнообломочные, песчаные, глинистые);
- разновидности – по количественным показателям состава, строения и свойств в соответствии с действующими нормативными документами.

3. Для выделенных типов приведены диапазоны значений влажности, плотности, модуля деформации, сцепления и угла внутреннего трения и их средние показатели.

В результате проведенного анализа инженерно-геологических особенностей и показателей свойств насыпных грунтов территории г. Москвы на защиту выносятся (**второе защищаемое положение**): типизация насыпных техногенных грунтов территории города Москвы должна быть построена на следующих классификационных признаках (степенях): генетических – направление хозяйственной деятельности (*группы*), способ образования (*подгруппы*), результат хозяйственной деятельности (*типы* – основная таксономическая единица); инженерно-геологических – литологический состав (*виды*) и особенности химического состава, физических, физико-химических и физико-механических свойств грунтов (*разновидности*).

## Глава 6. Применение комплексного ретроспективного анализа при определении конфигурации массивов насыпных грунтов<sup>5</sup>

За десятки лет техногенно измененный ландшафт становится трудноотличимым от природного: засыпанные овраги покрываются растительностью, отработанные карьеры рекультивируются или стихийно заполняются бытовыми и строительными отходами.

Известны случаи, когда при бурении на практически нетронутых территориях в пределах городских агломераций на глубинах 7-10 м встречались антропогенные включения в то время, как вышележащий грунт не содержал в себе признаков техногенного переотложения и был описан, как природный. Такие «находки» приводили к изменению проекта, увеличению глубины скважин, организации дополнительных детальных исследований [6].

Формы залегания насыпных грунтов в массивах и их пространственное положение относительно дневной поверхности могут быть весьма разнообразными. На рис. 6.1 приведены часто встречаемые на территории г. Москвы формы залегания насыпных грунтов в массивах. В соответствии с разработанной типизацией (см. главу 5) выделяется 15 типов насыпных грунтов, которые могут встречаться в любой из вышеописанных форм. В табл. 6.1 приведена их характеристика, возраст, мощность и литологический состав.

На предварительных стадиях изучения насыпных грунтов по форме массива можно определить тип грунтов, что позволит провести приблизительную оценку их инженерно-геологических особенностей, физических и физико-механических характеристик.

*Площадные покровы* (см. рис. 6.1, а) – наиболее распространенная форма. Как правило, такую форму залегания имеют грунты планировки территории (здесь и далее названия типов насыпных грунтов приводятся в соответствии с разработанной типизацией). В среднем мощность площадных покровов колеблется в пределах 2-4 м, в отдельных случаях достигая 7 м. Покровы имеют ровную, спланированную поверхность, но их подошва повторяет неровности природного рельефа – грунтами заполняются небольшие промоины, канавы и т.д. Формирование данного типа массивов происходит при планировке рельефа перед началом строительства, в процессе строительства, а также в ходе благоустройства и дальнейшей эксплуатации территории. Такую

---

<sup>5</sup> При подготовке данного раздела диссертации использованы следующие публикации, выполненные автором лично или в соавторстве, в которых, согласно Положению о присуждении ученых степеней в МГУ, отражены основные результаты, положения и выводы исследования:

1. Жидков, Р. Ю. Оценка точности и достоверности инженерно-геологических моделей на основе принципов машинного обучения / Р. Ю. Жидков, **Н. В. Абакумова**, Н. Н. Ракитина и др. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2023. – № 6. – С. 4-15. Импакт-фактор РИНЦ 2022: 0,575. Объем публикации: 1,5 п.л., объем вклада соискателя: 0,7 п.л.

2. Жидков, Р. Ю. Применение комплексного ретроспективного анализа при определении конфигурации массивов техногенных грунтов на примере г. Москвы / Р. Ю. Жидков, **Н. В. Абакумова**, В. С. Рекун // Инженерная геология. – 2023. – Т. 18. – № 1. – С. 18-34. Импакт-фактор РИНЦ 2022: 0,256. Объем публикации: 1,4 п.л., объем вклада соискателя: 0,6 п.л.

же форму залегания имеют грунты культурного слоя, которые формируются в местах скоплений человеческих поселений [102]. В этом случае сам массив представляет собой непрерывный покров территории всего города, а состав грунтов отражает геологическое строение верхней части разреза и может изменяться в пределах различных участков. Так, на юго-западе и северо-востоке г. Москвы, где распространены преимущественно моренные отложения, грунты планировки территории имеют супесчано-суглинистый состав, а вдоль долины р. Москвы и ее крупных притоков – песчаный.

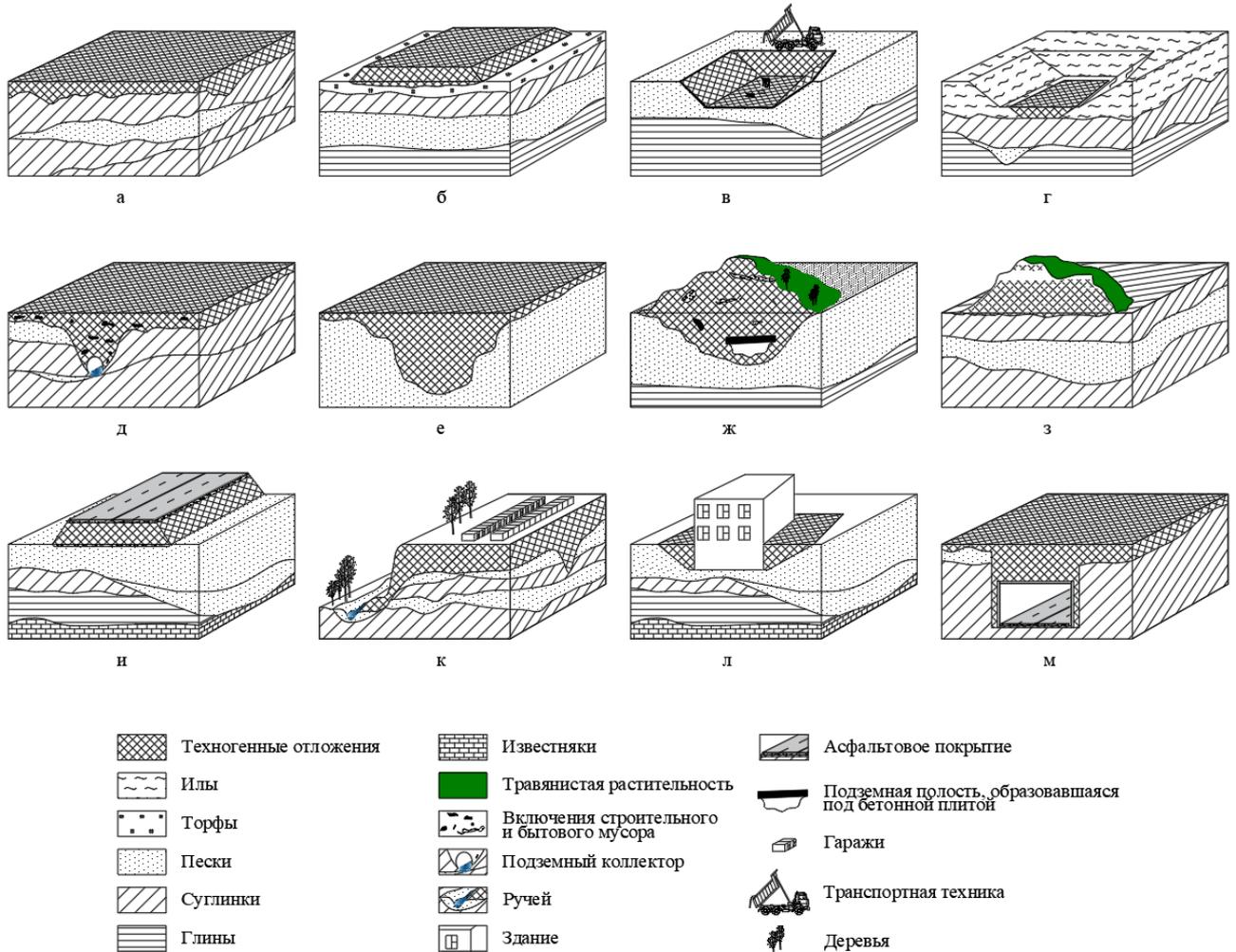


Рисунок 6.1. Типовые формы залегания насыпных грунтов в массивах на территории г. Москвы: а – площадные покровы; б – локальные насыпные территории; в – подстилающие или перекрывающие противодиффузионные экраны; г – песчаные подушки; д – засыпанные овраги и русла водотоков; е – засыпанные карьеры с выровненной площадкой; ж – засыпанные карьеры с образованной насыпью; з – насыпи на ровной поверхности; и – насыпи линейных сооружений; к – отсыпанные речные террасы; л, м – обратные засыпки

Фрагмент типизации насыпных грунтов территории г. Москвы с указанием периода активного формирования и формой массивов

Тип массива насыпных грунтов	Форма залегания (см. рис. 6.1)	Период активного формирования, годы	Мощность, м
Насыпи линейных сооружений	и	с 1760-х	до 20
Песчаные подушки, обратные засыпки и насыпные территории	б, л, м	с 1920-х	до 15
Земляные гидротехнические сооружения	з, и	с 1870-х	до 30
Защитные экраны хранилищ коммунальных и промышленных отходов	в	с 1870-х	до 1
Массивы грунтов планировки территории	а, д	с 1920-х	до 5
Полигоны приема строительных отходов	е, ж, з	с 2000-х	до 40
Несанкционированные отвалы из котлованов и транспортных тоннелей	а, б, д, е, ж, з, к	с 1930-х	до 20
Массивы грунтов разрушенных строительных конструкций и дорожных покрытий	а, б, ж, з	с 1920-х	-
Полигоны ТКО и несанкционированные свалки	е, ж, з	ТКО - с 1960-х свалки - с 1700-х	до 45
Массивы грунтов-осадков сточных вод	б, д, з	с 1898 г.	до 30
Культурный слой	а, д	с 1147 г.	до 25
Массивы грунтов-отходов металлургической промышленности	а, д, ж, з	с 1880-х	до 15
Массивы грунтов-отходов топливно-энергетической промышленности	д, е, з, к	с 1940-х	до 14
Строительные насыпи с примесью зол и шлаков	г, и	с 1960-х	до 10
Отвалы строительных, бытовых и промышленных отходов	а, б, д, е, ж, з, к	с 1830-х	до 25

*Локальные насыпные территории* (см. рис. 6.1, б) формируются либо целенаправленно на подтопленных и заболоченных землях при замене слабых грунтов в пределах больших площадей (пример, район Некрасовка на полях аэрации), либо стихийно при несанкционированном складировании строительных отходов. Мощность массивов насыпных грунтов достигает 10 м, площадь, как правило, не превышает 0,4 км<sup>2</sup>.

*Подстилающие* или *перекрывающие* *противофильтрационные экраны* (см. рис. 6.1, в) входят в состав полигонов коммунальных и промышленных отходов. Экраны состоят из грунтов с низкими коэффициентами фильтрации либо создаются с применением синтетических геоматериалов. В зависимости от типа противофильтрационного экрана имеют мощность 0,2-1,5 м, а их площадь ограничивается размерами полигона.

*Песчаные подушки* (см. рис. 6.1, г) отсыпаются с целью замены слабых грунтов (илов, торфов, заторфованных, текучих пылевато-глинистых, слабо уплотненных насыпных или пучинистых грунтов) для повышения несущей способности основания в пределах одного или нескольких строений. В состав песчаных подушек входят переотложенные природные пески крупные и средней крупности, а также крупнообломочные материалы. Экономически целесообразно создавать песчаную подушку мощностью 1-3 м.

*Засыпанные овраги и русла водотоков* (см. рис. 6.1, д) представляют собой один из результатов планировки территории. От площадных покровов отличаются большей мощностью, заполняются промытым песчаным грунтом или грунтами, образовавшимися при строительстве, и тщательно уплотняются. Часто встречаются овраги, заполненные стихийно отсыпанными отходами. При наличии постоянного водотока сооружается коллектор. Например, в г. Москве частично или полностью засыпаны реки Лихоборка, Кровянка, Чура, Котловка, Сетунь, Каменка, Чертановка, Копытовка, Ходынка, Таракановка, Сосенка и др. [62].

*Засыпанные карьеры с выровненной площадкой* (см. рис. 6.1, е) встречаются на водоразделах и в долинах рек (прирусловые карьеры, заполненные водой). Как правило, бывшие карьеры засыпаются с целью последующей застройки, попутно решается задача утилизации грунта из тоннелей и котлованов. Так, в 2013 г. при строительстве Лефортовского тоннеля были засыпаны разрабатывавшиеся с начала 1980-х гг. карьеры на территории современного Братеевского парка. В 2000-х гг. началось заполнение бывшего карьера на Мякининской пойме, которая впоследствии была застроена жилым комплексом «Мякинино Парк».

*Засыпанные карьеры с образованной насыпью* (см. рис. 6.1, ж) чаще всего представляют собой полигоны (ТКО), например, «Тимохово», «Алексинский карьер» и др. [65]. Полигоны приема строительных отходов сооружаются в виде *насыпей на ровной поверхности* (см. рис. 6.1, з). Массивы данной группы являются наиболее крупными телами, занимая большие территории, например, в районе Ново-Переделкино площадь отвала составляет более 0,33 км<sup>2</sup>, а высота доходит до 30 м.

Самым распространенным примером *насыпей линейных сооружений* (см. рис. 6.1, и) являются дорожные и железнодорожные насыпи. Они имеют небольшую ширину (до 100 м) и

значительную длину, сложное слоистое строение и основное тело из гравийно-песчаного материала.

*Отсыпанные террасы речных долин* (см. рис. б.1, к) чаще всего представлены грунтами из строительных котлованов и транспортных тоннелей, бытовым и строительным мусором [8]. Отсыпаются с целью повышения отметок террас небольших рек для дальнейшей застройки гаражами и производственными объектами, иногда для строительства высотных зданий. Такие территории есть в долинах рек Очаковки и Сетуни в Раменках, р. Баньки в г. Красногорске.

*Обратные засыпки* (см. рис. б.1, л, м) являются неотъемлемой частью практически любого строительства и возникают не только при заполнении пазух котлованов зданий и сооружений, но и при засыпке тоннелей метрополитена, пройденных открытым способом, и стартовых котлованов.

### **6.1. Ретроспективный подход к моделированию массивов техногенных грунтов**

Анализ репрезентативного среза наблюдений за разные годы позволяет проследить ход перемещения грунтовых масс в результате хозяйственной деятельности человека, выполнить классификацию техногенных грунтов на основе их морфометрических параметров. Однако, идея мониторинга «в реальном времени» скорее применима для характеристики территорий, освоение которых происходит в XXI в., в эпоху развития лазерной съемки и других дистанционных методов, а также технологий компьютерного зрения. Для территории г. Москвы в границах 2012 г. основным источником данных могут служить архивные и опубликованные результаты топосъемочных и картографических работ. Многие картографические материалы находятся в свободном доступе [158-163]. Наиболее информативными для настоящего исследования оказались нижеперечисленные планы и карта.

- Карта Ф.Ф. Шуберта 1852 г. – сборная карта, составленная на основе цветных вариантов листов Топографической карты Московской губернии [163]. Масштаб карты 1:42 000 (1 верста в 1 дюйме), построена в штриховом оформлении, включает высококачественное отражение основных геоморфологических элементов и гидросети.

- Нивелирный план 1888 г. [162] масштаба 1:8 400 (100 сажень в 1 английском дюйме) – наиболее ранний источник, содержащий численную информацию о высотных отметках рельефа. При этом высоты указаны в сажнях относительно уреза р. Москвы, за абсолютной ноль было принято значение вблизи Даниловского монастыря, где на момент построения плана уровень реки имел абсолютную отметку 109,9 м (51,5 сажени).

- План города г. Москвы издания Мосгоргеотреста 1952 г. [158] масштаба 1:10 000 – содержит информацию об абсолютных отметках рельефа в виде изолиний и отдельных отметок высот.

Выбор источника данных определяется соображениями максимальной детальности и точности, возможности корректной географической привязки. В то же время дата публикации картографического источника должна предшествовать периоду начала активного хозяйственного освоения территории. Эта задача, сложная при выполнении регионального анализа территории мегаполиса, как правило, легко решается при характеристике локальных участков.

Период активного освоения периферийных частей города приходится на 1960-е гг., поэтому для реализации ретроспективного анализа в ходе настоящего исследования основным источником информации был выбран план г. Москвы издания Мосгоргеотреста 1952 г. [158]. В качестве альтернативного источника данных использовались результаты топографической съемки в масштабе 1:2 000 за 1934-1952 гг. из архивов ГБУ «Мосгоргеотрест». Картографические материалы были векторизованы, после чего на их основе были созданы цифровые модели восстановленного рельефа. В настоящей работе этот этап назван алгоритмом Paleo.

## **6.2. Алгоритмический подход к моделированию массивов техногенных грунтов**

Основной источник информации о конфигурации толщи техногенных грунтов при выполнении инженерно-геологических изысканий – результаты буровых работ, описания инженерно-геологических скважин. В соответствии с таблицей п. 7.2.5 СП 446.1325800.2019 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ» [117], в зависимости от категории сложности инженерно-геологических условий, шаг скважин при бурении составляет от 20 до 100 м. Очевидно, что точность геологической модели в целом и модельной конфигурации толщи техногенных грунтов напрямую зависят от двух факторов: выбора метода интерполяции данных в межскважинном пространстве и алгоритмического подхода к моделированию.

В табл. 6.2 приведено краткое описание разных алгоритмических подходов к моделированию толщи техногенных грунтов. Фактически, при наличии актуальной ЦМР, эта задача сводится к построению матрицы высот подошвы техногенных отложений, которая соответствует земной поверхности на момент, предшествующий этапу антропогенного освоения территории, т.е. поверхности восстановленного рельефа. Методика применения алгоритмов для построения ЦМВР приведена в разделе 3.3.

Алгоритмические подходы к моделированию отметок подошвы техногенных грунтов

Алгоритм		Физический смысл	Формула вычисления отметки подошвы техногенных отложений в произвольной точке межскважинного пространства
название алгоритма	обозначение		
<i>Bottom</i>	<i>B</i>	значение отметки подошвы техногенных отложений, полученное методом интерполяции с поправкой, исключающей превышение современного рельефа земной поверхности	$min(I(B), Z)$
<i>Thick</i>	<i>H</i>	значение отметки подошвы техногенных отложений, полученное путем вычитания из матрицы высот ЦМР матрицы расчетных мощностей техногенных отложений	$Z-I(H_p)$
Max	<i>HB_max</i>	матрица максимальных значений, полученных по результатам работы алгоритмов <i>B</i> и <i>H</i>	$max(min(I(B), Z), (Z-I(H_p)))$
Min	<i>HB_min</i>	матрица минимальных значений, полученных по результатам работы алгоритмов <i>B</i> и <i>H</i>	$min (min(I(B), Z), (Z-I(H_p)))$
Avg	<i>HB_avg</i>	матрица средних значений, полученная по результатам работы алгоритмов <i>B</i> и <i>H</i>	$avg(min(I(B), Z), (Z-I(H_p)))$

Примечание:  $I(x)$  – интерполяционное значение показателя  $x$  в точке;  $max(x, y)$ ,  $min(x, y)$ ,  $avg(x, y)$  – максимальное, минимальное и среднее значения показателей  $x$  и  $y$ ,  $Z$  – значение ЦМР в точке,  $B$  – абсолютная отметка подошвы техногенных грунтов, задокументированная на момент бурения,  $H_p$  – расчетная мощность толщи техногенных грунтов, вычисленная по формуле 3.1 (см. раздел 3.3).

### 6.3. Оценка алгоритмов

Для оценки алгоритмов был выбран участок 35 «ул. Херсонская» на юго-западе г. Москвы (см. раздел 2.2). Через его территорию протекает река, полностью заключенная здесь в подземный коллектор, а на момент проведения топографических съемочных работ в первой половине XX в. протекавшая в свободном русле и имевшая несколько притоков-ручьев. В пределах участка также была развита разветвленная овражная сеть. На сегодняшний день рельеф территории полностью перепланирован, речные долины и овраги засыпаны. Площадь участка составляет 3,63 км<sup>2</sup>. Для моделирования и оценки его качества использовалась выборка из 568 архивных скважин (рис. 6.2), пробуренных в 1952-2018 гг. 25% выработок не привлекались для построения модели, а были случайным образом отобраны для ее проверки.

Были использованы два вида метрик качества [54, 138], определяемых при анализе цифровых пространственных данных, – средняя абсолютная ошибка (Mean Absolute Error – MAE) и среднеквадратичная ошибка (Root Mean Squared Error – RMSE).

MAE – метрика, которая показывает среднюю абсолютную разницу между прогнозируемыми значениями и фактическими значениями в наборе данных, рассчитывается по формуле:

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|, \quad (6.2)$$

где  $y_i$  – фактическое значение для  $i$ -го наблюдения;  $\hat{y}_i$  – прогнозируемое значение для  $i$ -го наблюдения;  $n$  – размер выборки.

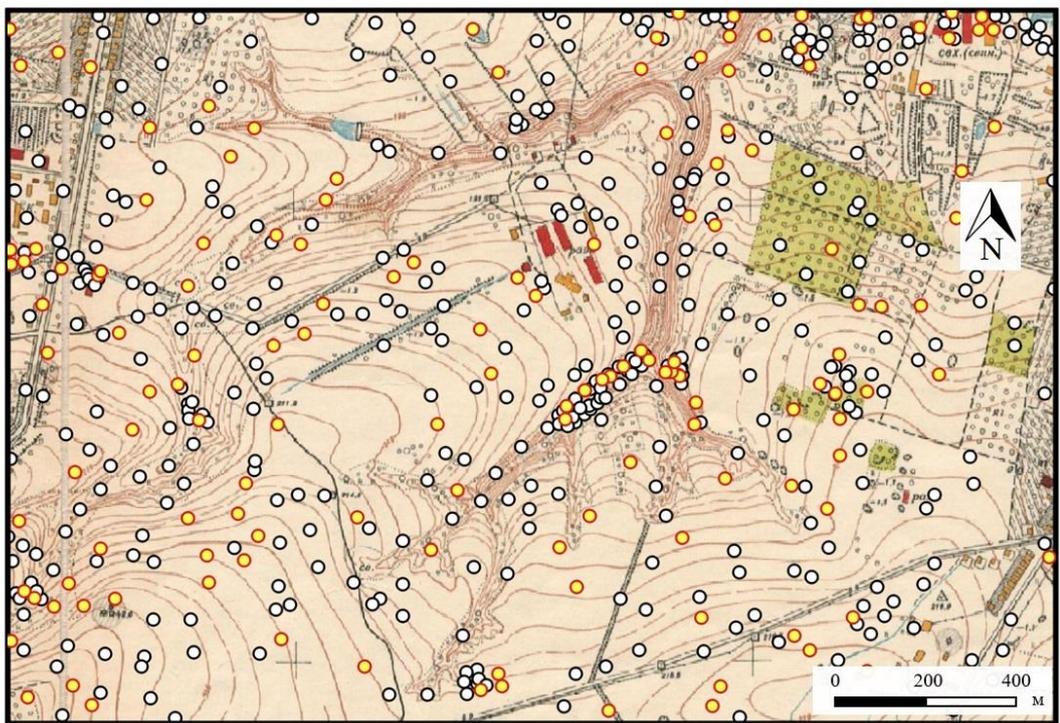
RMSE – метрика, которая показывает квадратный корень из средней квадратичной разницы между прогнозируемыми значениями и фактическими значениями в наборе данных:

$$\text{RMSE} = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}. \quad (6.3)$$

Чем ниже значения MAE и RMSE, тем лучше модель соответствует набору данных. Показатель RMSE является более чувствительным к статистическим «выбросам». В целом, с учетом специфики задачи вычисления отметки залегания подошвы техногенных отложений, метрика RMSE более представительна, т.к. равномерно распределенная, но небольшая по значению ошибка не столь критична, как пропущенный или, наоборот, идентифицированный по ошибке техногенный врез.



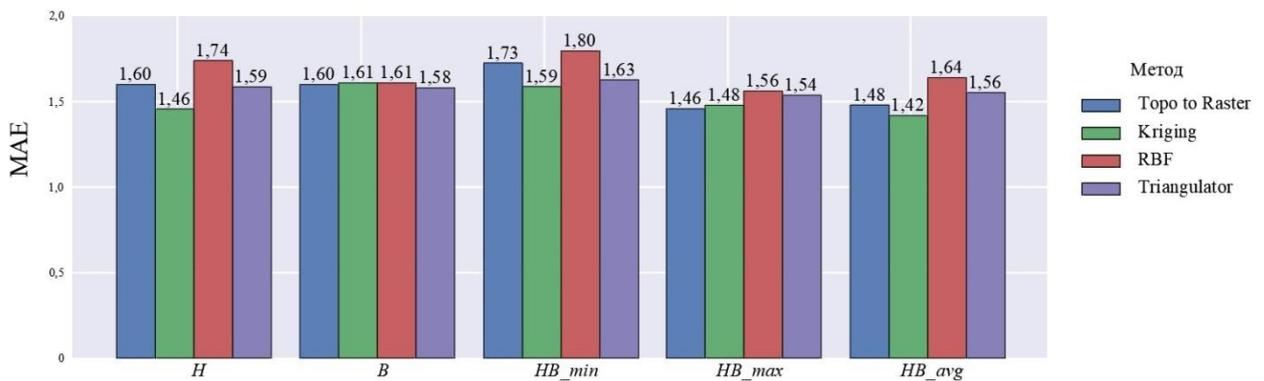
а



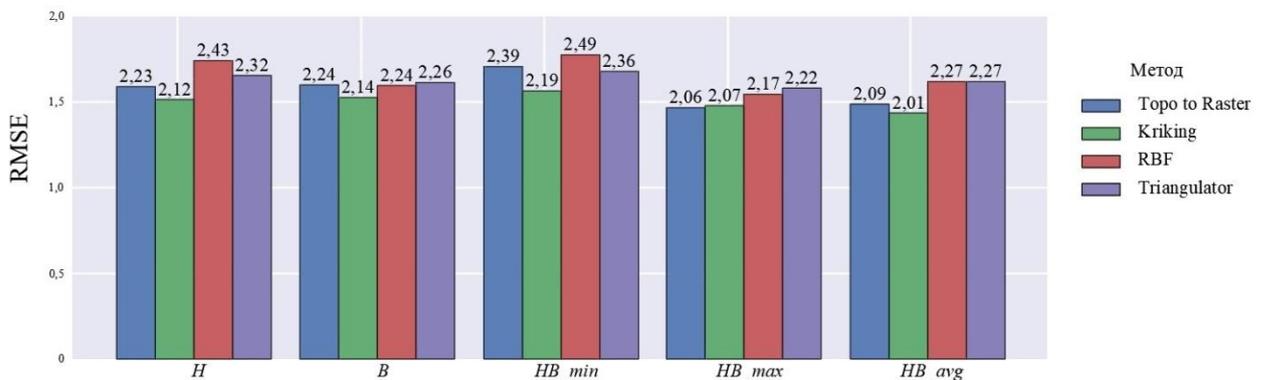
б

Рисунок 6.2. Инженерно-геологические выработки, использованные для построения модели (белый цвет) и для контроля точности моделирования (желтый цвет), наложенные на современный ортофотоплан (а) и карту 1952 г. [158] (б)

Для оценки влияния методов интерполяции было выполнено сравнение результатов работы каждого алгоритма с применением различных интерполяционных методов [111] – метода Topo to Raster, входящего в состав пакета Spatial Analyst программного комплекса ArcMap (извлечение поверхности из точек высот, контурных линий, полигонов итеративным методом интерполяции конечных разностей) [145], реализации ординарного кригинга в программном пакете Golden Software Surfer [139], модуля RBF (радиальная базисная функция) в составе свободно распространяемой версии библиотеки Alglib и линейного интерполятора, основанного на триангуляционном построении поверхности (программа Safe Software FME). Результаты работы программ, основанных на различии алгоритмов, показаны на рис. 6.3.



а



б

Рисунок 6.3. Результаты оценки точности алгоритмов по контрольной выборке: а – оценка абсолютной ошибки (MAE), б – оценка среднеквадратичной ошибки (RMSE)

Из приведенных результатов можно сделать вывод, что точность моделирования зависит от выбранного метода интерполяции, однако, комплексирование алгоритмов *H* и *B* позволяет улучшить результат. В частности, применение алгоритма *HB\_max* дало улучшение показателя RMSE для всех интерполяционных методов, а, следовательно, его можно считать рекомендуемым при применении алгоритмического подхода к моделированию подошвы техногенных грунтов.

Для проверки точности ретроспективной модели рельефа (алгоритм Paleo) использовался тот же тестовый набор данных, на котором была выполнена оценка качества работы интерполяционных и геостатистических алгоритмов. Значения в ячейках матрицы высот цифровой модели архивного рельефа сопоставлялись с отметками подошвы техногенных отложений в буровых скважинах, и вычислялись метрики MAE и RMSE. Результаты приведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Сопоставление результатов оценки точности цифровой модели восстановленного рельефа, построенной на основе топографических карт разного масштаба (алгоритм Paleo)

Использованная метрика	Топографическая съемка в масштабе 1:2 000 (данные ГБУ «Мосгоргеотрест»)	Открытые данные – топографический план масштаба 1:10 000 [158]
MAE	1,75	1,96
RMSE	2,30	2,63

#### 6.4. Комплексирование алгоритмического и ретроспективного подходов

Из полученных результатов следует, что применение ретроспективного анализа при наличии качественной топографической основы для построения цифровой модели восстановленного рельефа позволяет получить результаты, сопоставимые с алгоритмическим подходом. На участках распространения погребенных отрицательных элементов рельефа ЦМВР несет информацию об их конфигурации, которую невозможно получить в результате буровых работ. В частности, на изучаемом участке (рис. 6.4) ширина погребенной долины реки и отдельных оврагов не превышает 20-30 м, а величина уклона поверхности их бортов превышает 30°, следовательно, восстановить их глубину и конфигурацию по результатам буровых работ не получится даже при проходке инженерно-геологических скважин по сетке 20 м (а это минимальный шаг скважин, указанный в п. 7.2.5 СП 446.1325800.2019 [117]). Однако, именно результаты бурения являются основным прямым источником сведений об инженерно-геологическом строении при проведении инженерных изысканий. Отсюда напрашивается вывод, что для повышения качества моделирования необходимо выполнять комплексирование прямого (алгоритмического) и косвенного (ретроспективного) подходов.

Комплексирование алгоритмов может быть выполнено множеством способов. Скорее всего, за основу должен быть взят алгоритм *НВ\_max*, который показал наилучшие результаты для всех интерполяционных алгоритмов, кроме кригинга (табл. 6.4). На рис. 6.5 приведены результаты оценки точности работы трех вариантов комплексирования алгоритма *НВ\_max* с данными цифровых моделей восстановленного рельефа.

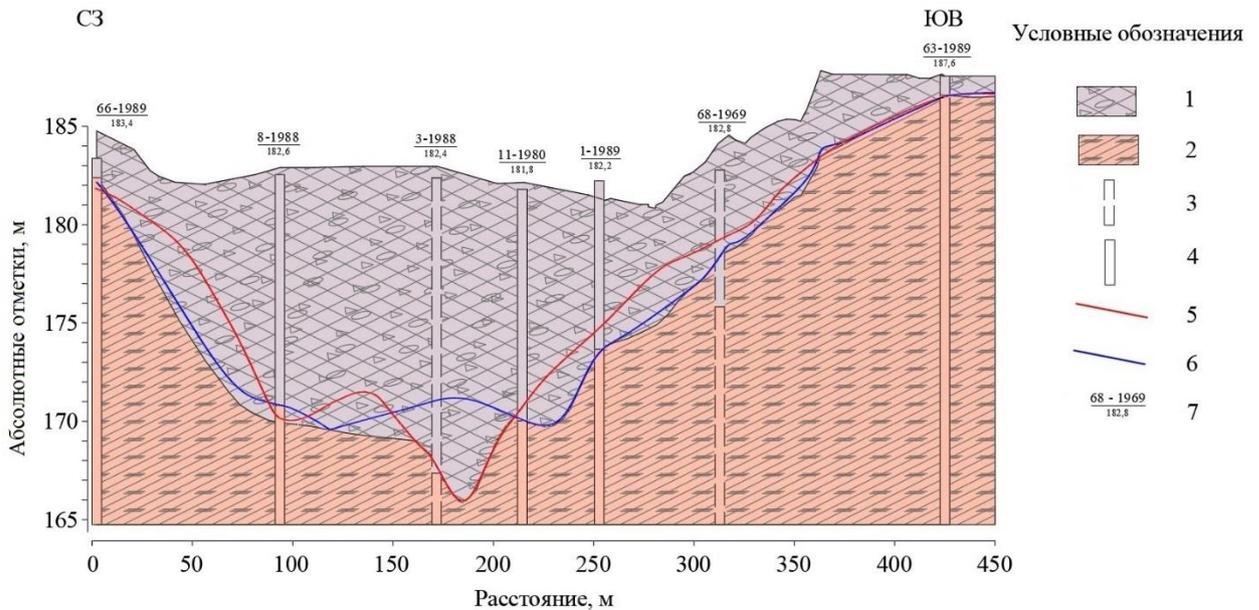


Рисунок 6.4. Характерный инженерно-геологический разрез территории изучаемого участка: 1 – техногенные грунты; 2 – природные грунты; 3 – скважина, использовавшаяся для оценки качества моделирования; 4 – скважина, использовавшаяся для построения модели; 5 – подошва техногенных отложений, построенная путем вычитания поверхности древнего рельефа из восстановленного; 6 – подошва техногенных отложений, построенная на основе алгоритмического подхода (вариант, давший наилучшие метрические показатели); 7 – номер скважины, год бурения, абсолютная отметка устья

Таблица 6.4

Комплексные алгоритмы моделирования отметок подошвы техногенных грунтов

Обозначение комплексного алгоритма	Формула вычисления отметки подошвы техногенных отложений в произвольной точке межскважинного пространства
<i>complex_max</i>	$\max(НВ\_max, Z_{вр})$
<i>complex_min</i>	$\min(НВ\_max, Z_{вр})$
<i>complex_avg</i>	$avg(НВ\_max, Z_{вр})$

Примечание:  $Z_{вр}$  – значение отметки цифровой модели восстановленного рельефа в точке.

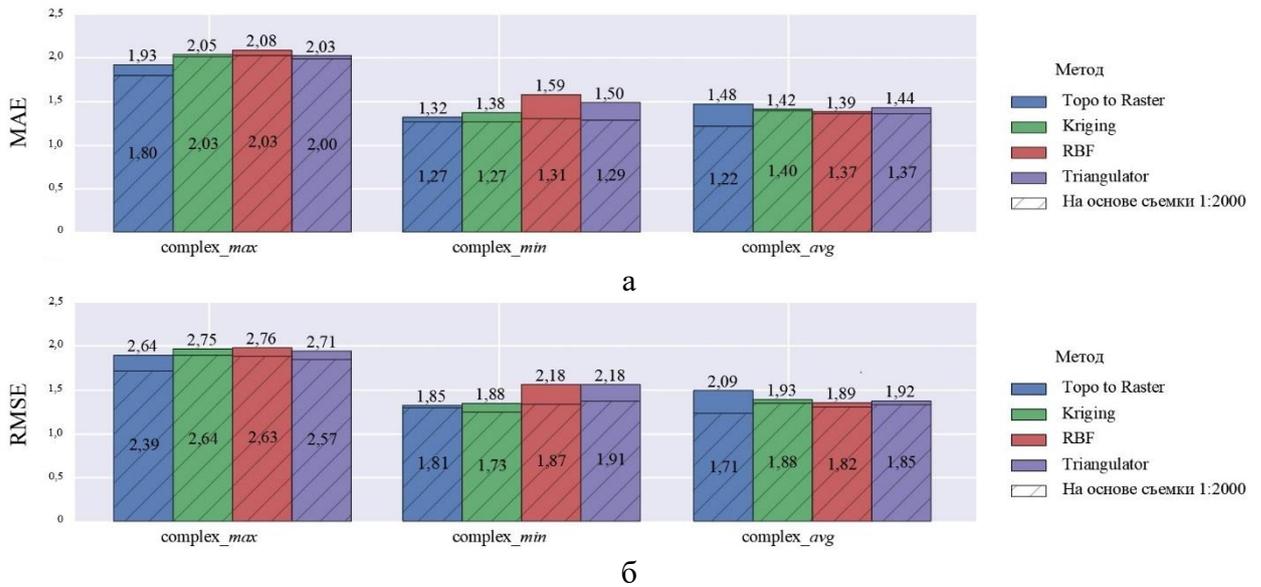


Рисунок 6.5. Результаты оценки точности комплексных алгоритмов моделирования на контрольной выборке: а – оценка абсолютной ошибки (MAE), б – оценка среднеквадратичной ошибки (RMSE)

Из диаграмм видно, что стратегии минимизации и осреднения результатов комплексной работы алгоритма и цифровой модели восстановленного рельефа позволяют получить существенное преимущество в точности оценки по сравнению с алгоритмическим и ретроспективным подходами. Такой комплексный подход нивелирует особенности различных интерполяторов и в целом позволяет более гибко подходить к выбору интерполяционных алгоритмов при необходимости работы с большими массивами данных, отказавшись от изначально более точных геостатистических методов, таких как кригинг, в пользу более производительных, таких как RBF или линейный интерполятор.

Имеет значение и точность цифровой модели восстановленного рельефа. Использование в качестве основы топографических планов масштаба 1:2 000 также позволило получить более высокую сходимость тестовой выборки по сравнению с моделью, основанной на информации с карты масштаба 1:10 000.

Таким образом, наиболее точным и производительным оказался подход, основанный на минимизации двух растров, полученных в результате работы алгоритмов Max и Paleo. В общей методике комплексного ретроспективного анализа этот алгоритм был назван Paleo\_Max.

### 6.5. Особенности применения методики на региональном уровне (на примере территории г. Москвы)

Как уже отмечалось, комплексирование ретроспективного и алгоритмического подходов при моделировании толщи техногенных грунтов крайне затруднено, и территория г. Москвы в данном случае может служить наглядным примером. Это связано с многовековой историей градостроительного освоения, неполным, а иногда и фрагментарным покрытием территории

съемочными материалами, отсутствием данных об отметках рельефа в период, предшествующий XIX в. Для картографирования и моделирования в масштабе города требуется создание сплошного бесшовного покрытия. На практике это означает проведение трудоемкой работы по сведению разнородной и разномасштабной информации. Такая работа была выполнена в ГБУ «Мосгоргеотрест» в 2021 г. в ходе подготовки проекта по созданию трехмерной геологической модели г. Москвы.

На рис. 6.6 отражено изменение границ территории г. Москвы в исторической ретроспективе. На схеме не отмечено изменение границ в 2012 г., когда официальная территория города увеличилась более чем в 2,4 раза. Вопрос трансформации природной среды на присоединенных территориях заслуживает отдельного рассмотрения.

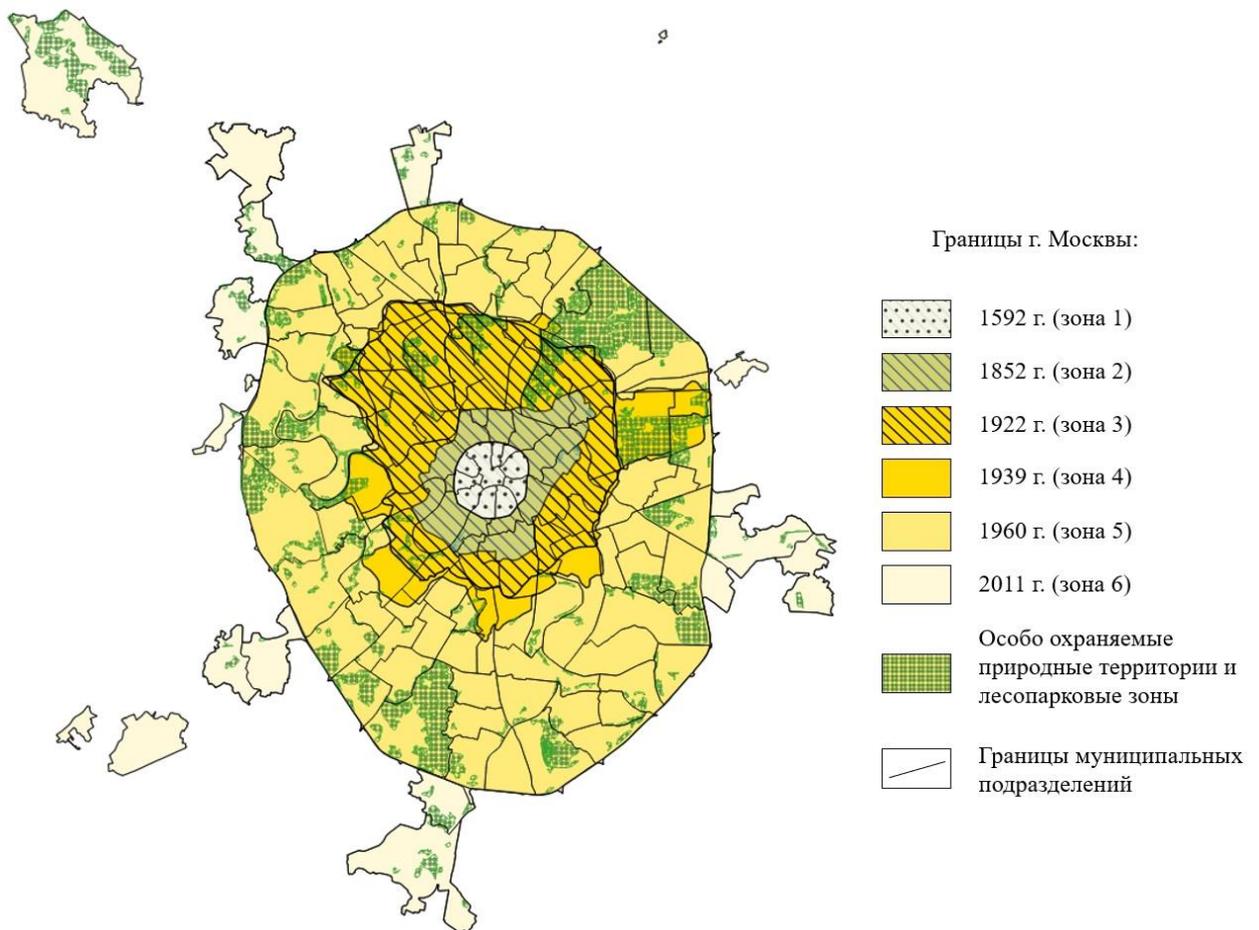


Рисунок 6.6. Схема изменения границ территории г. Москвы за период с 1592 по 2011 гг. по материалам ГБУ «Мосгоргеотрест» и литературным источникам по [20, 41, 123]

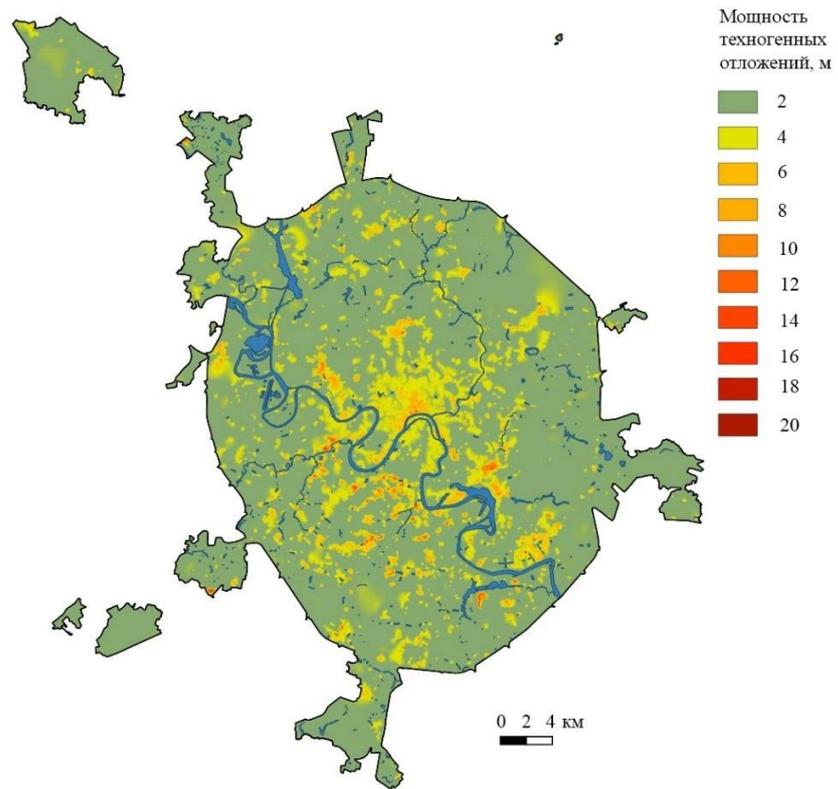
Для центральной исторической части города в границах Земляного вала (зона 1) и значительной части Камер-Коллежского вала (зона 2) практически отсутствуют картографические материалы, которые содержали бы высотные отметки, характеризующие природный ненарушенный рельеф. Основной метод построения поверхности восстановленного рельефа на таких участках – геолого-геоморфологическая реконструкция на основе данных

буровых скважин и геологических карт, положения водотоков на архивных планах, схемах и геологических картах. Разумеется, точность реконструированного по такой методике восстановленного рельефа на рассматриваемой территории несопоставима с точностью моделей, созданных на основе карт и топопланов, построенных по результатам инструментальной съемки, но ситуация в большинстве случаев поправима при высокой исторической и геологической изученности.

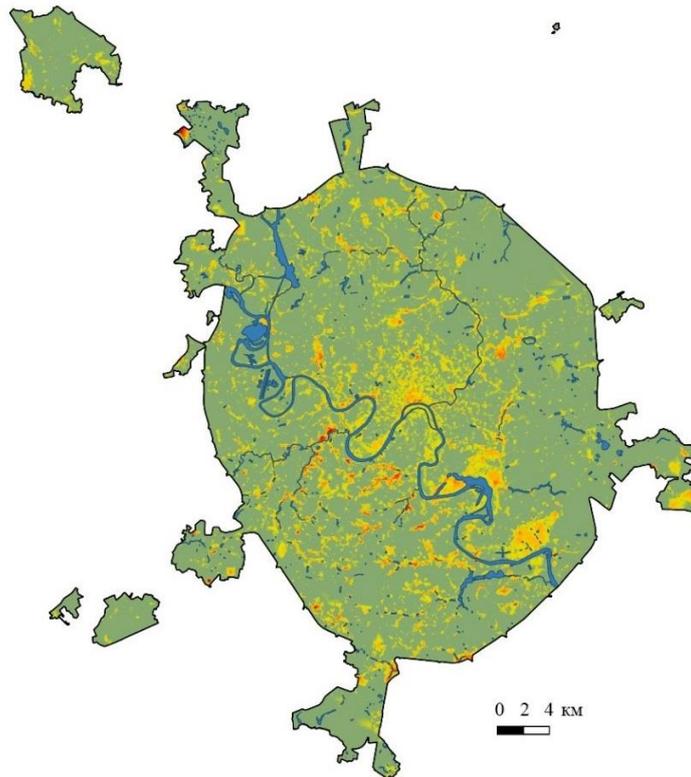
Территория в границах зоны 3 достоверно воссоздается на основе комплексного анализа карты 1838 г. и нивелирной съемки 1888 г. [160, 162]. Поверхность восстановленного рельефа в зонах 4-6 была воссоздана по данным топографической съемки, преимущественно на основе оцифровки топографических планшетов масштаба 1:2 000 за 1930 – 1980-е гг. с использованием карт [158, 160, 162] в качестве дополнительных материалов. Данные инженерно-геологических скважин и геологического картирования в пределах этой территории использовались для реконструкции техногенно-преобразованных участков, например, железнодорожных насыпей.

Для природных зон, сохранившихся в городской черте, таких как особо охраняемые природные территории и лесопарковые зоны, может быть использован любой, предпочтительно наиболее детальный, топографический материал, т.к. рельеф на таких территориях меняется незначительно. Однако, из этого правила есть исключения. Так, на Воробьевых горах (природный заказник) в основании горнолыжного трамплина и эскалаторной галереи мощность толщи техногенных отложений достигает 13 м.

Создание региональной цифровой модели восстановленного рельефа позволило выполнить картографирование мощности техногенных отложений в границах территории г. Москвы по состоянию на 2012 г. При построении региональной модели применялся комплексный ретроспективно-алгоритмический подход – помимо модели восстановленного рельефа привлекались данные более 150 тыс. геологических выработок – это превышает объем фактического материала, использованного при создании Геологического атласа [16], почти в два раза. Перечисленные работы существенно уточнили результаты ранее проведенных исследований, в частности, выполненных при создании карты техногенных отложений масштаба 1:10 000 [16], что отражается как на обзорных (рис. 6.7), так и крупномасштабных картах и схемах (рис. 6.8). По картам видно, что по сравнению с результатами крупномасштабного геологического картографирования оценка стала более четкой, участки с увеличенной мощностью техногенных отложений локализованы и на большей части городской территории приурочены к погребенным оврагам и речным долинам. Этот вывод, сделанный на основе визуального анализа, подтверждается данными пространственного статистического анализа (табл. 6.5).

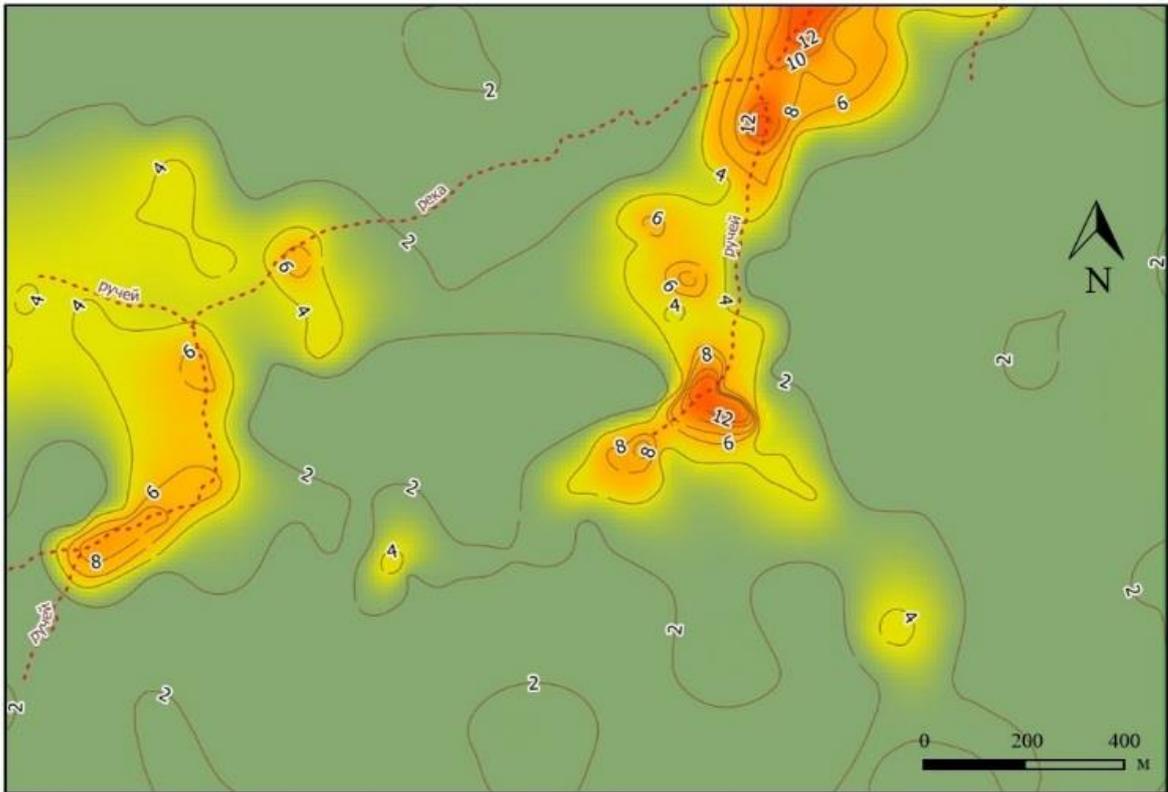


а

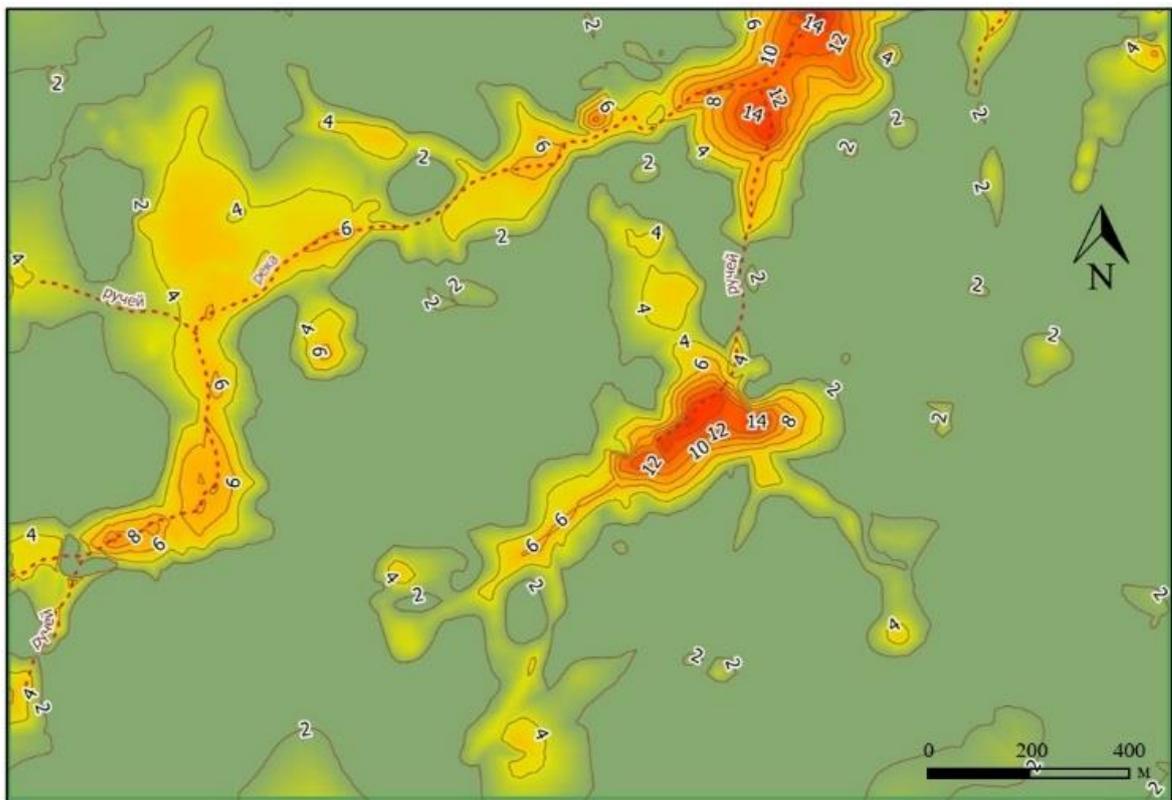


б

Рисунок 6.7. Обзорная карта мощности техногенных отложений территории г. Москвы, построенная на основе данных Геологического атласа по [16] (а) и модельной поверхности, построенной с использованием комплексного ретроспективно-алгоритмического подхода (б)



а



б

Рисунок 6.8. Карта мощности техногенных отложений на территории изучаемого участка, построенная на основе данных Геологического атласа по [16] (а) и модельной поверхности, построенной с использованием комплексного ретроспективно-алгоритмического подхода (б)

Таблица 6.5

Оценка мощности и объемов техногенных грунтов на основе ЦМР, построенной по авторской методике (зеленый цвет) и данным Геологического атласа [16] (синий цвет)

Административный округ г. Москвы	Мощность техногенных грунтов, м				Расчетный объем техногенных грунтов, км <sup>3</sup>	
	средняя		максимальная			
Центральный	2,89	3,24	19,05	13,23	0,19	0,21
Южный	2,08	2,33	36,84	13,48	0,27	0,30
Юго-Восточный	2,06	2,46	20,23	12,83	0,24	0,29
Западный	1,89	2,25	40,09	14,00	0,26	0,34
Северный	1,87	2,27	27,12	13,49	0,19	0,23
Северо-Восточный	1,85	2,24	30,83	13,54	0,19	0,23
Юго-Западный	1,73	2,30	21,73	14,00	0,20	0,26
Северо-Западный	1,58	2,23	34,25	12,63	0,15	0,21
Восточный	1,43	2,09	25,58	10,49	0,22	0,32
Зеленоградский	1,42	2,02	20,11	6,37	0,05	0,07
Итого (в границах 2012 г.)	1,88	2,32	40,09	14,00	1,95	2,47

Результаты исследования показывают, что применение ретроспективного анализа, даже при использовании открытых данных, позволяет получить оценку мощности техногенных грунтов с точностью, сопоставимой с точностью результатов буровых работ, которая регламентируется нормативными техническими документами для средней сложности инженерно-геологических условий. Итоги интерполяционной алгоритмической оценки в значительной мере зависят от выбранного метода интерполяции и использованного алгоритма. Комплексирование алгоритмического и ретроспективного подходов позволяет существенно

повысить точность оценки и скорректировать специфические особенности интерполяционных алгоритмов, оставляя исследователю свободу в выборе программных продуктов.

Описанная методика была использована при формировании цифрового слоя техногенных отложений в региональной геологической модели г. Москвы, разрабатываемой в ГБУ «Мосгоргеотрест». Для этого на основе обработки комплекса архивных картографических источников был создан цифровой слой восстановленного рельефа г. Москвы. Картографические материалы, сгенерированные на основе модельных данных, позволили существенно уточнить результаты геологического картографирования г. Москвы [16]. Полученная модельная поверхность позволила также оценить общий объем техногенных отложений в границах г. Москвы (по состоянию на 2012 г.) и его распределение по административным округам.

В рамках проведенного исследования не рассматривалась территория, присоединенная к границам г. Москвы в 2012 г. Специфика техногенного преобразования этой территории, которое происходит в настоящее время, заслуживает отдельного анализа и привлечения данных дистанционного зондирования Земли.

Следует рекомендовать при разработке нормативных документов по инженерно-геологическим изысканиям на территориях распространения специфических – техногенных, – грунтов предусмотреть на самой первой стадии изысканий построение карты распространения и мощности техногенной толщи по фондовым данным. На поздних стадиях изысканий разумно осуществлять сгущение сетки буровых скважин и точек зондирования в границах идентифицированных переуглублений, заполненных техногенными грунтами.

#### **6.6. Выводы к главе 6**

1. Методика комплексного ретроспективного анализа разработана с целью повышения точности картирования техногенных отложений на предварительных стадиях инженерно-геологических изысканий.

2. Результатом комплексного ретроспективного анализа является цифровая модель восстановленного рельефа (со снятым слоем насыпных грунтов). Путем вычитания полученной поверхности из современного рельефа возможно построение карты техногенных отложений. Такой подход имеет преимущество перед интерполяцией мощностей техногенных отложений в скважинах, т.к. будет сохранять актуальность при дальнейшем накоплении насыпных грунтов.

3. Методика предполагает использование архивных данных буровых работ и древних топографических планов, что позволяет детализировать цифровую поверхность восстановленного рельефа в метрах разреженной посадки архивных скважин или прорисовки оврагов, в которые архивные скважины не попали.

4. Верификация полученных результатов показала более высокую точность комплексного ретроспективного анализа по сравнению с тривиальными способами картирования, применявшимися ранее – интерполяции абсолютных отметок подошвы техногенных отложений в выработках (Bottom) и простого вычитания древних топографических планов из современного рельефа (Paleo). В зависимости от выбранного метода интерполяции и детальности исходных данных уменьшение MAE при комплексном подходе составляет 0,08-0,64 м.

5. Рекомендуется использовать данную методику для предварительной оценки мощности техногенных отложений и увеличении точности расчета объемов земляных работ при замене слабых насыпных грунтов во время строительства. Также по форме массива возможно определение типа насыпных грунтов в соответствии с разработанной типизацией и предварительная оценка их физико-механических характеристик.

Таким образом, сформулировано **третье защищаемое положение**: построение цифровой модели восстановленного рельефа местности должно выполняться с применением комплексного ретроспективного анализа, включающего: 1) сравнение древнего и современного рельефов; 2) учет архивных материалов по инженерно-геологическим выработкам; 3) обязательную верификацию модели, что позволяет повысить точность построения карт мощностей техногенных отложений на предварительных стадиях инженерно-геологических изысканий.

## Выводы

Процесс антропогенного литогенеза на городских территориях развивается стремительными темпами: растет население городов, увеличивается плотность застройки, интенсивность выработки электроэнергии, количество образующихся отходов, – причем скорость накопления техногенных грунтов в дальнейшем будет только возрастать.

Инженер-геологи в своей деятельности всё чаще встречаются с насыпными массивами, однако, не существует ни узкоспециализированной классификации насыпных грунтов, ни специальных методик их исследований. Техногенные образования недостаточно считать специфическими грунтами и выделять в отдельный инженерно-геологический элемент – в ближайшем будущем должны быть разработаны методики определения состава и свойств насыпных грунтов, определены дополнительные задачи при изысканиях на территориях распространения техногенных грунтов. Проведенные исследования позволили сформулировать следующие основные выводы:

1. В геологическом строении территории г. Москвы на глубину до 75 м принимают участие четвертичные, меловые, юрские и каменноугольные отложения, по литологическому составу представленные песками различной крупности, супесями, суглинками, глинами и известняками. В процессе строительной деятельности именно из них формируются массивы насыпных преимущественно техногенно переотложенных грунтов. К формированию массивов техногенно образованных насыпных грунтов приводят хозяйственно-бытовая и промышленная деятельность: в г. Москве расположено 4 полигона ТКО (из которых 1 действующий) и 6 официально зарегистрированных полигонов приема строительных отходов, 3 крупных отвала металлургических шлаков действовавших ранее заводов, на твердом топливе работало 11 тепловых электростанций.

2. Разработка, перемещение и целенаправленная или стихийная отсыпка природных грунтов приводят к изменению их состава, строения и свойств:

- в ходе выемки котлованов происходит неконтролируемое смешение природных грунтов разных видов и возрастов;

- в глинистые грунты попадает крупнообломочный материал: строительный и бытовой мусор, обломки раздробленных горных пород, песчаные грунты, происходит уменьшение дисперсности. Расширяется диапазон вариации показателей физических и физико-механических свойств грунтов, характер изменения зависит от давности и способа отсыпки (целенаправленное или стихийное);

- песчаные грунты при целенаправленной укладке перемещаются в неизменном виде либо с меньшим содержанием тонкодисперсной составляющей за счет отмыва глинистых и

пылеватых частиц при гидромеханизированном способе разработки, в ходе чего снижается неоднородность грунтов, повышается их коэффициент фильтрации, снижается природное сцепление;

- скальные и полускальные грунты при разработке дробятся и переходят в класс дисперсных грунтов щебенистой и дресвяной размерности с заполнителем или без него.

3. Разработана типизация насыпных грунтов территории г. Москвы, учитывающая их генетические и инженерно-геологические особенности. Основой для построения типизации послужили разработки Ф.В. Котлова, А.П. Афонина и др., Е.Н. Огородниковой и С.К. Николаевой, М.А. Викторовой. Таксоны выделены по следующим признакам: группы – по виду деятельности; подгруппы – по способу образования; типы (основная категория) – по результату хозяйственной деятельности; виды – по литологическому составу; разновидности выделяются по количественным показателям состава, строения и свойств в соответствии с действующими нормативными документами. Выделены и подробно описаны пятнадцать типов насыпных грунтов. Приведена их инженерно-геологическая характеристика, включающая описание объемов и источников насыпных грунтов, распространения и форм нахождения в массиве. Для выделенных типов приведены диапазоны значений влажности, плотности, модуля деформации, сцепления и угла внутреннего трения и их средние показатели.

4. Разработана методика комплексного ретроспективного анализа территорий, заключающаяся в построении цифровой модели восстановленного рельефа (со снятым покровом техногенных отложений) по данным архивных геологических выработок и старых топографических планов, позволяющая увеличить точность картирования массивов техногенных отложений. На экспериментальном участке применение разработанной методики позволило уменьшить среднюю абсолютную ошибку (МАЕ) на 0,08-0,64 м по сравнению с применявшимися ранее способами картирования.

### Список литературы

Опубликованная:

1. Абакумова, Н. В. Асфальт и бетон в составе насыпных грунтов городских территорий // Материалы международного научного форума «Ломоносов-2018» / Н. В. Абакумова, Р. А. Кузнецов. – Москва : ООО «МАКС Пресс», 2019.
2. Абакумова, Н. В. Изменение состава строения и свойств перемещенных дисперсных грунтов при антропогенном литогенезе // Сборник тезисов докладов научной конференции «Ломоносовские чтения» / Н. В. Абакумова, С. К. Николаева, Е. Н. Самарин. – Москва : МГУ им. М.В. Ломоносова, 2021. – С. 21–25.
3. Абакумова, Н. В. Инженерно-геологические особенности хвостов золотоизвлечения // Материалы Первой научно-практической конференции молодых специалистов Инженерные изыскания в строительстве / Н. В. Абакумова; под ред. К. С. Висхаджиевой. – Москва : Геомаркетинг, 2017. – С. 128-131.
4. Абакумова, Н. В. Источники насыпных грунтов городских территорий как основа их систематизации / Н. В. Абакумова // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник научных трудов XXIII Международной научно-практической конференции. – Москва : РУДН, 2022. – Т. 1. – С. 257-261.
5. Абакумова, Н. В. Классификации техногенных отложений в инженерной геологии: исторический обзор, современный взгляд на проблему / Н. В. Абакумова, С. К. Николаева, Е. Н. Самарин // Инженерные изыскания. – 2021. – Т. 15. – № 1-2. – С. 28-40.
6. Абакумова, Н. В. Моделирование техногенного изменения рельефа - первый шаг при проектировании зданий и сооружений на освоенных территориях / Н. В. Абакумова, Р. Ю. Жидков, А. Е. Юрьев // Инженерные изыскания в строительстве. Материалы четвертой Общероссийской научно-практической конференции молодых специалистов / Под ред. К. С. Висхаджиева. — М.: Геомаркетинг, 2022. — С. 103–111.
7. Абакумова, Н. В. Насыпные грунты Петровского бастиона Псково-Печерского монастыря / Н. В. Абакумова, И. В. Аверин, С. К. Николаева, Н. П. Камышанова // Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы современного грунтоведения. Выпуск 23. – Т. 23. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. – Москва : Изд-во «Геоинфо», 2022. – С. 43–47.
8. Абакумова, Н. В. Проблемы освоения территорий, занятых массивами насыпных грунтов / Н. В. Абакумова, И. В. Аверин, Е. Н. Самарин, С. К. Николаева // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник научных трудов XXI Международной научно-практической конференции. – Москва : РУДН, 2020. – Т. 1. – С. 231–235.

9. Абакумова, Н. В. Типизация насыпных грунтов Московской агломерации / Н. В. Абакумова // Инженерная геология. – 2022. – Т. 17. – № 2. – С. 6-26.
10. Абелев, Ю. М. Возведение зданий и сооружений на насыпных грунтах / Ю. М. Абелев, В. И. Крутов. – Москва : Госстройиздат, 1962. – 150 с.
11. Абелев, Ю. М. Опыт строительства зданий на насыпных грунтах / Ю. М. Абелев, В. И. Крутов. – Москва : Госстройиздат, 1959. – 36 с.
12. Авдусин, Д. А. Полевая археология СССР : учебное пособие / Д. А. Авдусин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1980. 335 с.
13. Аверьянов, В. Н. Экран из суглинков вскрыши для полигонов ТБО / В. Н. Аверьянов, А. С. Жерихин // Твердые бытовые отходы. – 2013. – № 5. – С. 32-35.
14. Акулова, В. В. Геоэкологические проблемы города Иркутска / В. В. Акулова, М. И. Грудинин, Т. Г. Рященко, Н. И. Демьянович // Известия Иркутского государственного университета. – 2008. – Т. 1. – № 1. – С. 22-32.
15. Аникина, Н. В. Антропогенная трансформация рельефа городской территории (на примере центра Москвы) / Н. В. Аникина // Ярославский педагогический вестник. – 2013. – Т. 3. – № 4. – С. 254-257.
16. Антипов, А. В. Инженерные изыскания для строительства: практика и опыт Мосгоргеотреста / А. В. Антипов, В. И. Осипов. – Москва : ООО Издательство «Перспектив», 2012. – 352 с.
17. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – Москва : Изд-во МГУ, 1970. – 487 с.
18. Афонин, А. П. Классификация техногенных грунтов / А. П. Афонин, И. В. Дудлер, Р. С. Зиангиров и др. // Инженерная геология. – 1990. – № 1. – С. 115-121.
19. Балашов, Б. В. Мониторинг насыпной дамбы, возводимой в МТП Усть-Луга на слабом грунтовом основании / Б. В. Балашов, Н. Д. Беляев, Е. Б. Михаленко и др. // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 4. – С. 10-16.
20. Беляев, Л. А. От электронного ресурса – к атласу археологического наследия города Москвы. Методические материалы / Л. А. Беляев, А. А. Емельянов А.А. – Москва : Индрик, 2019.
21. Беляева, Ю. Л. Геологические процессы на полигонах. Образование фильтрата / Ю. Л. Беляева, Д. В. Беляков // Твердые бытовые отходы. – 2009. – № 6. – С. 32-33.
22. Борисова, Е. Г. Основы методики лабораторных исследований при искусственной укреплении грунтов / Е. Г. Борисова. – Москва : Изд-во МГУ, 1954. – 248 с.

23. Брюхань, А. Ф. О категориях газогеохимической опасности насыпных грунтов / А. Ф. Брюхань, Ф. Ф. Брюхань, А. Я. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22. – № 7. – С. 55-58.
24. Викторова, М. А. Грунты несанкционированных строительных отвалов и свалок (на примере территории г. Москвы) : автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук : 25.00.08 / Викторова Мария Анатольевна. – М., 2007. – 282 с.
25. Викторова, М. А. Инженерно-геологическая типизация грунтов несанкционированных строительных отвалов и свалок / М. А. Викторова, С. К. Николаева // Материалы VIII Международной конференции «Новые идеи в науках о земле». – 2007. – Т. 8. – С. 17-20.
26. Викторова, М. А. Несанкционированные свалки города / М. А. Викторова // Твердые бытовые отходы. – 2005. – № 6. – С. 11-12.
27. Вознесенский, Е. А. Общая генетическая классификация техногенных грунтов / Е. А. Вознесенский // Вестник Московского университета. – 2019. – № 5. – С. 3-9.
28. Галкин, А. Н. Техногенные грунты: учебное пособие / А. Н. Галкин, А. Ф. Акулевич, А. И. Павловский и др. – Минск: Вышэйшая школа, 2020. – 192 с.
29. Гальперин, А. М. Техногенные массивы и охрана природных ресурсов : учебное пособие для вузов : в 2 т. / А. М. Гальперин, В. Ферстер, Х.-Ю. Шеф. – Москва : Изд-во МГГУ, 2006. – Т. 1 : Насыпные и намывные массивы. – 391 с.
30. Гальперин, А. М. Техногенные массивы и охрана окружающей среды / А. М. Гальперин, В. Ферстер, Х.-Ю. Шеф. – Москва : Изд-во МГГУ, 1997. – 534 с.
31. Голубев, И. Ф. Техника и методика ускоренного анализа почв / И. Ф. Голубев. – Москва : Изд-во министерства сельского хозяйства РСФСР, 1963. – 106 с.
32. ГОСТ 22733-2016. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. – Москва : Стандартиформ, 2016. – 12 с.
33. ГОСТ 23740-2016. Грунты. Методы определения содержания органических веществ. – Москва : Стандартиформ, 2019. – 10 с.
34. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – Москва : МНТК СТНС, 2011. – 61 с.
35. ГОСТ 25100-2020. Грунты. Классификация. – Москва : Стандартиформ, 2020. – 38 с.
36. ГОСТ 25100-82. Грунты. Классификация. – Москва : Изд-во стандартов, 1982. – 17 с.
37. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. – Москва : ОАО «ЦПП», 2008. – 81 с.
38. ГОСТ 25584-2016. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. – Москва : Стандартиформ, 2016. – 19 с.

39. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 8 с.
40. ГОСТ Р 56353-2022. Грунты. Методы лабораторного определения динамических свойств дисперсных грунтов. – Москва : Российский институт стандартизации, 2022. – 49 с.
41. Грачев, М. Н. Расширение границ Москвы: анализ альтернативных проектов и путей их реализации / М. Н. Грачев, С. И. Попов // Вестник РУДН. – 2014. – № 2. – С. 13-30.
42. Грунтоведение / В. Т. Трофимов, В. А. Королев, Е. А. Вознесенский и др.; под ред. В.Т. Трофимова. – 6-е изд., перераб. и дополн. – Москва : Изд-во МГУ и «Наука», 2005. – 1024 с.
43. Грунтоведение / Е. М. Сергеев, Г. А. Голодковская, Р. С. Зиангиров; под ред. Е.М. Сергеева. – 5-е изд. – Москва : Изд-во МГУ, 1983. – 389 с.
44. Грунтоведение / под ред. Е.М. Сергеева. – 2-е изд. – М.: Изд-во МГУ, 1959. – 392 с.
45. Грунтоведение / под ред. Е.М. Сергеева. – 3-е изд. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – 392 с.
46. Грунтоведение / под ред. Е.М. Сергеева. – 4-е изд. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 392 с.
47. Демина, Н. В. Особенности состава твердого компонента грунтов культурного слоя центральной части г. Москвы / Н. В. Демина, В. В. Демин, С. К. Николаева. – Сергиев Посад: Патриарший изд.-полигр. центр, 2008. – С. 150-155.
48. Дмитриев, Е. А. Математическая статистика в почвоведении / Е. А. Дмитриев. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 320 с.
49. Долматов, Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии) / Б. И. Долматов. – 2-е изд. перераб. и доп. – Ленинград : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. – 415 с.
50. Дургалян, М. Г. Оценка зол гидроудаления Каширской теплоэлектростанции для использования в насыпи под транспортную развязку // Материалы Международного молодежного научного форума «Ломоносов-2016» / М. Г. Дургалян, Н. В. Абакумова. – Москва : ООО «МАКС Пресс», 2016.
51. Евсеева, Н. С. Экзогенные процессы в техногенных отложениях на территории Томской области / Н. С. Евсеева, З. Н. Квасникова, М. А. Каширо // География и природные ресурсы. – 2016. – № 2. – С. 104-110.
52. Жаркова, Н. И. Техногенные грунты г. Казани: особенности формирования состава, строения и свойств / Н. И. Жаркова, Г. А. Черныйчук, И. Я. Жарков, Р. К. Галеев // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. – 2013. – Т. 155. – № 4. – С. 130-143.
53. Жидков, Р. Ю. Применение комплексного ретроспективного анализа при определении конфигурации массивов техногенных грунтов на примере г. Москвы / Р. Ю. Жидков, Н. В. Абакумова, В. С. Рекун // Инженерная геология. – 2023. – Т. 18. – № 1. – С. 18-34.

54. Жидков, Р. Ю. Оценка точности и достоверности инженерно-геологических моделей на основе принципов машинного обучения / Р. Ю. Жидков, Н. В. Абакумова, Н. Н. Ракитина и др. // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2023. – № 6. – С. 4–15.
55. Здобин, Д. Ю. О классификации грунтов культурного слоя / Д. Ю. Здобин // Российская археология. – 2008. – № 1. – С. 48-52.
56. Зиангиров, Р. С. Принципиальные вопросы построения общей классификации грунтов (к пересмотру ГОСТ 25100-82. Грунты. Классификация) / Р. С. Зиангиров, В. Т. Трофимов. – Геозкология. – 1995. – № 3. – С. 103-109.
57. Инженерная геология России. Т.1. Грунты России / Т. В. Андреева, С. Д. Балыкова, Ю. К. Васильчук и др.; под ред. В. Т. Трофимова, Е. А. Вознесенского, В. А. Королева – Москва : КДУ, 2011. – 672 с.
58. Каздым, А. А. Техногенные грунты и техногенные отложения, техногенные ландшафты и культурный слой – современные проблемы классификации и систематики / А. А. Каздым // Грунтоведение. – 2014. – № 1. – С. 54-70.
59. Канал Москва – Волга. Земляные работы. 1932-1937 гг. / НКВД СССР, Бюро технического отчета о строительстве канала Москва – Волга. – Москва; Ленинград: Государственное изд-во строительной литературы, 1940. – 329 с.
60. Карфидова, Е. А. Проблема антропогенного трансформирования рельефа на примере центра города Москвы: постановка задач и пути их решения / Е. А. Карфидова, И. М. Кравченко // Academy. – 2019. – № 2 (41). – С. 7-9.
61. Кирюшина, Н. Ю. Очистка вод гальванических производств от ионов  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Zn^{2+}$  электросталеплавильным шлаком : автореф. дисс. ... канд. тех. наук : 03.02.08 / Кирюшина Наталья Юрьевна. – Пенза, 2011. – 160 с.
62. Комаров, В. Л. Геология в реконструкции г. Москвы / В. Л. Комаров. – Москва : Изд-во АН СССР, 1938.
63. Королев, В. А. Инженерная геология: история, методология и номологические основы / В. А. Королев, В. Т. Трофимов. – Москва : КДУ, 2016.
64. Королёв, В. А. Методология научных исследований в инженерной геологии: учебное пособие / В. А. Королёв. – Москва : ООО Самполиграфист, 2020. – 353 с.
65. Королев, В. А. О геологических проблемах обращения с отходами: к итогам конференции «Обращение с отходами: задачи геозкологии и инженерной геологии» / В. А. Королев // Инженерные изыскания. – 2018. – Т. 7. – № 3-4. – С. 18-24.
66. Котлов, Ф. В. Антропогенные геологические процессы и явления на территории города / Ф. В. Котлов. – Москва : Наука, 1977.

67. Котлов, Ф. В. Антропогенные изменения рельефа на примере г. Москвы / Ф. В. Котлов // Вопросы географии. – 1961. – Т. 52. – С. 134-150.
68. Котлов, Ф. В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека / Ф. В. Котлов. – Москва : Недра, 1978. – 263 с.
69. Котлов, Ф. В. Культурный слой Москвы и его инженерно-геологическая характеристика. Очерки гидрогеологии и инженерной геологии Москвы и её окрестностей / Ф. В. Котлов. – Москва : МОИП, 1947. – С. 3-117.
70. Кошелев, А. Г. Оценка техногенных полей влажности на урбанизированных территориях / А. Г. Кошелев, В. А. Королев, В. Н. Соколов // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2003. – № 1. – С. 61-69.
71. Крупская, В. В. Определение состава грунтов методом рентгеновской дифрактометрии. Лабораторные работы по грунтоведению / В. В. Крупская, С. В. Закусин, В. Г. Шлыков; под ред. В. Т. Трофимова, В. А. Королева. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 2016.
72. Крутов, В. И. Основания и фундаменты на насыпных грунтах / В. И. Крутов. – Москва : Стройиздат, 1988. – 224 с.
73. Крутов, В. И. Основания и фундаменты на насыпных грунтах / В. И. Крутов, А. С. Ковалева, В. А. Ковалев. – Москва : АСВ, 2016. – 469 с.
74. Лабораторные работы по грунтоведению: учебное пособие / под ред. В. Т. Трофимова, В. А. Королева. – 3-е изд., исправ. и доп. – Москва : КДУ, 2017. – 605 с.
75. Ларионова, Н. А. Возможности и перспективы использование промышленных отходов для производства строительных материалов / Н. А. Ларионова // Инженерная геология. – 2012. – № 4. – С. 60-67.
76. Ларионова, Н. А. Использование промышленных отходов в качестве вторичного минерального сырья для получения строительных материалов с заданными свойствами / Н. А. Ларионова; под ред. В. Т. Трофимова. – Москва : ГеоИнфо, 2017. – 500 с.
77. Ларионова, Н. А. Исследования по устройству золоотвалов и снижению их фильтрационных расходов / Н. А. Ларионова // Сергеевские чтения. – 2018. – № 20. – С. 127-132.
78. Ларионова, Н. А. Методические основы лабораторных исследований при физико-химическом укреплении грунтов / Н. А. Ларионова, Е. Н. Самарин. – Москва : Биоинформсервис, 2021. – 188 с.
79. Лехов, М. В. Массивы депонированных осадков как один из объектов инженерной геологии / М. В. Лехов, М. Б. Куринов, В. Н. Широков // Сергеевские чтения. – 2001. – № 3. – С. 27–30.

80. Лихачева, Э. А. Карта техногенных отложений г. Москвы / Э. А. Лихачева, Л. С. Курбатова, Е. И. Махорина // Геоморфология. – 1998. – № 1. – С. 61-67.
81. Лихачева, Э. А. Экологические хроники Москвы / Э. А. Лихачева. – Москва : Медиа-ПРЕСС, 2007. – 304 с.
82. Ломтадзе, В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология / В. Д. Ломтадзе. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Недра, 1984. – 511 с.
83. Луцкий, С. Я. Рекомендации по интенсивной технологии и мониторингу строительства земляных сооружений на слабых основаниях / С. Я. Луцкий. – М.: Информационно-издательский центр «Тимр», 2005. – 96 с.
84. Лычко, Ю. М. Инженерно-геологическая характеристика некоторых типов техногенных грунтов / Ю. М. Лычко // Инженерная геология. – 1983. – № 1. – С. 28-36.
85. Макарова, Н. В. Геоморфологическое районирование территории Москвы в новых границах / Н. В. Макарова, С. В. Григорьева // Геоморфология. – 2018. – № 4. – С. 53-65.
86. Метелюк, Н. С. Сваи и свайные фундаменты: справочное пособие / Н. С. Метелюк, Г. Ф. Шишко, А. Б. Соловьева и др. – Киев : Будівельник, 1977. – 256 с.
87. Мирный, А. Ю. Подбор гранулометрического состава песчано-гравийных смесей для песчаных подушек и насыпей / А. Ю. Мирный, А. З. Тер-Мартirosян // Жилищное строительство. – 2014. – № 9. – С. 43-46.
88. Мосэнерго: 130 лет развития. Юбилейное издание / Г. Л. Андреев, С. С. Шандаров; под общ. ред. Е.В. Лушпаевой. – Москва : Мосэнерго, 2017. – 256 с.
89. Николаева, С. К. Генетические особенности формирования состава техногенных грунтов как основа их подразделения в грунтоведении / С. К. Николаева, М. А. Викторова // Петрогенетические, историко-геологические и пространственные вопросы в инженерной геологии. Тр. Межд. научн. конф. – Москва : Изд-во МГУ, 2002. – С. 50-51.
90. Николаева, С. К. Исследования зол и шлаков теплоэнергетики в Московском университете: от идеи до результатов // Новые идеи и теоретические аспекты инженерной геологии / С. К. Николаева, Е. Н. Огородникова, Н. В. Абакумова; под ред. В. А. Королёва. – Москва : 2021. – С. 41-48.
91. Николаева, С. К. Особенности состава грунтов культурного слоя Троице-Сергиевой Лавры // Многообразие грунтов: морфология, причины, следствия. Труды междунар. конференции 27-28 мая 2003 / С. К. Николаева, В. Г. Шлыков, И. А. Бражник; под ред. В. Т. Трофимова, В. А. Королёва. – Москва : Изд-во МГУ, 2003. – С. 128-129.
92. Общее грунтоведение / под ред. Е. М. Сергеева. – 1-е изд. – Москва : Изд-во МГУ, 1952. – 392 с.

93. Огородникова, Е. Н. Вторичные ресурсы для дорожной индустрии – золы теплоэлектростанций и шлаки черной металлургии / Е. Н. Огородникова, Т. А. Барабошкина, В. А. Мымрин. – Москва : Изд-во РУДН, 2013. – 244 с.
94. Огородникова, Е. Н. Намывные грунты и управление их свойствами / Е. Н. Огородникова, С. К. Николаева, В. Чин и др. – Москва : Изд-во РУДН, 2014. – 368 с.
95. Огородникова, Е. Н. Насыпные грунты Москвы / Е. Н. Огородникова, С. К. Николаева, Н. В. Абакумова // Актуальные проблемы экологии и природопользования: сборник научных трудов XX Международной научно-практической конференции. – Москва : РУДН, 2019. – Т. 1. – С. 310-314.
96. Огородникова, Е. Н. Техногенные грунты городских агломераций. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций / Е. Н. Огородникова, С. К. Николаева, М. А. Нагорная и др. // Сергеевские чтения. – 2015. – № 17. – С. 185-189.
97. Огородникова, Е.Н. Техногенные грунты: учебное пособие / Е. Н. Огородникова, С. К. Николаева. – Москва : Изд-во РУДН, 2017. – 636 с.
98. Огородникова, Е. Н. Химический анализ грунтов / Е. Н. Огородникова, Н. Н. Комиссарова. – Москва : Изд-во МГУ, 1990. – 159 с.
99. Осинцева, Н. В. Типы техногенных отложений на территории г. Томска и их геоэкологические аспекты / Н. В. Осинцева, Н. С. Евсеева // Вестник Томского госуд. ун-та. – 2012. – № 361. – С. 176-181.
100. Осипов, В. И. Москва. Геология и город / В. И. Осипов, О. П. Медведев – Москва : АО «Московские учебники и картолитология», 1997. – 400 с.
101. Очков, В. Ф. История, настоящее и будущее теплофикации в иллюстрациях / В. Ф. Очков // Энергосовет. – 2017. – № 3 (49). – С. 25-38.
102. Пашкин, Е. М. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры / Е. М. Пашкин. – 4-е изд., доп. – Москва : АНО «Традиция», 2022. – 368 с.
103. Пашкин, Е. М. Инженерно-геологический аспект сохранения древних оборонительных сооружений / Е. М. Пашкин, О. В. Домарев, А. А. Никифоров // Геоэкология. – 1993. – № 4. – С. 117-123.
104. Пашкин, Е. М. Особенности эволюционных изменений контакта фундамент-грунт церкви Вознесения в Коломенском / Е. М. Пашкин, А. В. Панкратов, В. М. Кувшинников и др. // Геоэкология. – 2003. – № 4. – С. 328-334.
105. Пустовалов, Л. В. Петрография осадочных пород. Часть первая. Основы литологии (петрологии) осадочных пород / Л. В. Пустовалов. – Москва, Ленинград : Гостоптехиздат, 1940. – 420 с.

106.Родькина, И. А. 2018. Защитные экраны, применяемые на полигонах ТКО в России и за рубежом / И. А. Родькина, Е. Н. Самарин // Твердые бытовые отходы. – 2018. – № 12. – С. 35-42.

107.Савинов, О. А. Инструкция по проектированию и устройству фундаментов под временно устанавливаемые машины на насыпных грунтах / О. А. Савинов. – Москва : Машстройиздат, 1949. – 346 с.

108.Сазонова, С. А. О некоторых результатах исследований насыпных грунтов // Известия высших учебных заведений / С. А. Сазонова, А. Б. Пономарев // Строительство. – 2016. – № 2 (686). – С. 109-116.

109.Сазонова, С. А. О необходимости комплексного изучения свойств техногенных грунтов и использования их в качестве оснований зданий / С. А. Сазонова, А. Б. Пономарев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 2. – С. 98-106.

110.Сазонова, С. А. Применение экспресс-методов для определения характеристик насыпных грунтов / С. А. Сазонова, С. Д. Румянцев // Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8. – № 3. – С. 113-120.

111.Самарин, Е. Н. Курс лекций по методам статистической обработки инженерно-геологической информации / Е. Н. Самарин, А. В. Бершов, И. К. Фоменко. – Москва: Изд-во МГУ, 2004. – 196 с.

112.Семенова, Т. В. Совершенствование методов экспресс контроля уплотнения грунтов в земляном полотне лесных дорог. Часть 1. Обобщающая Математическая модель / Т. В. Семенова, Н. П. Александрова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – №. 6-2 (48). – С. 10-14.

113.Смикалин, Н. С. Утилизация и переработка строительного мусора / Н. С. Смикалин // Наука и образование сегодня. – 2019. – № 3 (38). – С. 15-16.

114.СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010): Санитарные правила и нормативы – Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 83 с.

115.СП 11-102-97. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства. Инженерно-экологические изыскания для строительства. – Москва : Госстрой России, ГУП ЦПП, 2001. – 35 с.

116.СП 11-105-97. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть III. Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов. – Москва : Госстрой России, ГУП ЦПП, 2004. – 75 с.

- 117.СП 446.1325800.2019. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 78 с.
- 118.СП 45.13330.2017. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 (с Изменениями № 1, 2). – Москва : Стандартинформ, 2019. – 259 с.
- 119.СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. – Москва : Минстрой России, 2016. – 160 с.
- 120.СП 502.1325800.2021. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. – Москва : Минстрой России, 2021. – 141 с.
- 121.СП 82.13330.2016. Благоустройство территорий. Актуализированная редакция СНиП III-10-75. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 24 с.
- 122.Страхов, Н. М. Основы теории литогенеза. Часть I. Типы литогенеза и их размещение на поверхности Земли / Н. М. Страхов. – Москва: Изд-во Академии наук СССР, 1960. – 212 с.
- 123.Сытин, П. В. История планировки и застройки Москвы: материалы и исследования: в 3 т. / П. В. Сытин. – Москва : «Московский рабочий». – 1950. – Т. 1. – 412 с.
- 124.Трофимов, В. Т. Основные законы инженерной геологии и ее научных направлений / В. Т. Трофимов // Теоретические проблемы инж. геол. Тр. Междунар. науч. конф. – Москва : Изд-во Моск. Ун-та. – 1999. – С. 30–34.
- 125.Трофимов, В. Т. О фундаментальных аспектах генетического подхода к изучению грунтов / В.Т. Трофимов, В. А. Королев // Инженерная геология. – 2019. – Т. 14. – № 1. – С. 8-19.
- 126.Трофимов, В. Т. Теоретические аспекты инженерной геологии / В. Т. Трофимов. – Москва : Изд-во Академическая наука, ООО «Геомаркетинг», 2019. – 280 с.
- 127.Ухов, С. Б. Механика грунтов, основания и фундаменты / С. Б. Ухов. – Москва : Изд-во АСВ, 1994.
- 128.Хазанов, М. И. Искусственные грунты, их образование и свойства / М. И. Хазанов. – Москва : Наука, 1975. – 135 с.
- 129.Хацкевич, А. Н. Опыт применения метода топографических поверхностей для определения мощности и условий залегания техногенных грунтов / А. Н. Хацкевич, А. В. Можаровская, М. С. Дергачев // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – № 11. – С. 18-19.
- 130.Худайбергенов, А. М. Инженерная геология городов правобережья р. Чирчика (Ташкент, Чирчик, Янгиюль) / А. М. Худайбергенов. – ФАН, Ташкент : ФАН, 1980.
- 131.Чистяков, А. А. Четвертичная геология: учебник / А. А. Чистяков, Н. В. Макарова, В. И. Макаров. – Москва: ГЕОС, 2000. – 303 с.

132. Чунюк, Д. Ю. Свойства уплотненных грунтов в основании зданий и сооружений / Д. Ю. Чунюк, И. В. Аверин, О. В. Коптева. – Москва: АСВ, 2021.
133. Шешнёв, А. С. Антропогенные отложения и формы рельефа городских территорий: формирование, развитие, геоэкологическая роль (на примере Саратова): монография / А. С. Шешнёв; под ред. А. В. Иванова. – Саратов: Саратов. Гос. Техн. Ун-т, 2012. – 287 с.
134. Шешнёв, А. С. Генетические комплексы антропогенных отложений на территории Саратова / А. С. Шешнёв, М. В. Решетников, П. С. Жучков и др. // Вестник Саратовского госуд. технич. ун-та. – 2013. – Т. 4. – № 1 (73). – С. 248-254.
135. Широков, В. Н. Особенности консолидации грунтовых массивов депонирования Марьинский парк / В. Н. Широков, М. Б. Куринов. – Москва: ГЕОС, 2002. – С. 78–82.
136. Япаскурт, О. В. Литология / О. В. Япаскурт. – Москва : Изд-во Академия:, 2008. – 336 с.
137. Al-Homoud, A. Modelling the effect of rainfall on instabilities of slopes along highways / A. Al-Homoud, G. Prior, A. Awad // Environmental Geology. – 1999. – V. 37. – P. 317-325.
138. Chai, T. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – arguments against avoiding RMSE in the literature / T. Chai, R. R. Draxler // Geoscientific Model Development. – 2014. – № 7(3). – P. 1247-1250.
139. Costa, J. P. A comparison between Kriging and radial basis function networks for nonlinear prediction / J. P. Costa, L. Pronzato, E. Thierry // NSIP. – 1999. – P. 726-730.
140. Edgeworth, M. Diachronous beginnings of the Anthropocene: the lower bounding surface of anthropogenic deposits / M. Edgeworth, D. de B. Richter, C. Waters et al. // The Anthropocene Review. – 2015. – V. 2. – № 1. – P. 33-58.
141. Ford, J. R. An enhanced classification of artificial ground / H. Kessler, A. H. Cooper, S. J. Price et al. // British Geological Survey. – 2010.
142. Ho, L. S. Topography restoration of historic city research. ISPRS, Annals of the Photogrammetry / L. S. Ho, D. S. Han // Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2015. – V. 2. – №. 5W3. – P. 301-305.
143. Li, Zh. Long-term deformation analysis of recycled construction waste subgrade filler / Zh. Li, Y. Shihao, L. Liu, B. Dai, W. Dong // Advances in Civil Engineering. – 2019. – V. 2019. – № 5891759. – P. 1-14.
144. Pando, L. Urban geology from a GIS-based geotechnical system: a case study in a medium-sized city (Oviedo, NW Spain) / L. Pando, G. Flor-Blanc, S. Llana-Fúnez // Environmental Earth Sciences. – 2022. – V. 81. – № 193. – P. 1-13.

145. Paramasivam, C. R. An introduction to various spatial analysis techniques. In book GIS and geostatistical techniques for groundwater science / C. R. Paramasivam, S. Venkatramanan // GIS and geostatistical techniques for groundwater science. – 2019. – P. 23-30.

146. Peloggia, A. Geological classification and mapping of technogenic (artificial) ground: a comparative analysis / A. Peloggia // Revista do Instituto Geológico. – 2018. – V. 39. – № 2. – P. 1-15.

147. Rosenbaum, M.S. Classification of artificial (man-made) ground / M. S. Rosenbaum, A. A. McMillan, J. H. Powell et al. // Engineering Geology. – 2003. – V. 69. – № 3-4. – P. 399-409.

148. Xiang, J. Quantitative analysis of Anthropogenic morphologies based on multi-temporal high-resolution topography / J. Xiang, Sh. Li, K. Xiao et al. // Remote Sensing. – 2019. – V. 11. – Issue 12. – №. 1493. – P. 1-20.

Фондовая:

149. Геологический атлас Москвы (в 10 томах с пояснительной запиской). Масштаб 1:10 000. Под ред. А. В. Антипова. – Москва : Изд-во ГУП «Мосгоргеотрест», Москва, 2012.

150. Отчет по теме: «Высокоскоростная железнодорожная магистраль «Москва-Казань-Екатеринбург» (ВСМ 2). Инженерно-геологические изыскания. Участок ст. Москва Техническая Курская ВСМ (вкл.) – ст. Железнодорожная км 23. – Москва : АО «Мосгипротранс», 2017.

151. Технический отчет об инженерно-геологических изысканиях на земельном участке с кадастровым номером 50:21:0120114:96 расположенного по адресу: г. Москва, поселение Сосенское, вблизи д. Зименки, уч. №17 в рамках строительства объекта: Всесезонный городской спортивно-событийный кластер «ADRENALINE BEAT». – Москва, 2020. – 334 с.

152. Технический отчет по инженерно-геологическим изысканиям для объекта «Инженерно-геологические изыскания по объекту: «Жилищное строительство в районе Некрасовка, квартал 17». – Москва : ООО «Институт «Каналсетьпроект», 2017.

153. Технический отчет по инженерно-геологическим изысканиям на объекте «Земельные участки по адресу г. Москва, ЮЗАО, ул. Косыгина, вл.15, кадастровые номера 77:06:0001002:60,:129,:85 общей площадью около 4 га». – Москва : ООО «Транспроектинжиниринг», 2017.

154. Технический отчет по инженерно-геологическим изысканиям по объекту «Южный дублер Кутузовского проспекта (в т.ч. участок от Минской улицы до Мосфильмовской улицы), выезд с ул. Поклонной на Южный дублер Кутузовского проспекта». Этап 1. Искусственные сооружения и участок южного дублера Кутузовского проспекта (от Аминьевского шоссе до Минской ул. с транспортной развязкой на Минской ул.) (1 этап). Этап 1.2.3. – Москва : АО «НИПИИ ЭТ «ЭНЕРГОТРАНСПРОЕКТ», 2017.

Интернет-источники:

155. Государственный реестр объектов размещения отходов [Электронный ресурс] // Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор). – 2018. – Режим доступа: <https://rpn.gov.ru/activity/regulation/kadastr/groro/>.

156. Обзор прессы от 10.10.2019 на тему: «Развитие транспортного комплекса города Москвы и Московской области» [Электронный ресурс] // Дирекция Московского транспортного узла. – 2022. – Режим доступа: <https://anomtu.ru/obzory-pressy/2019/oktyabr/obzor-pressy-ot-10102019-na-temu-razvitie-transport/>.

157. Объекты учета Государственного кадастра месторождений и проявлений полезных ископаемых [Электронный ресурс] // Российский федеральный геологический фонд. – 2022. – Режим доступа: <https://www.rfgf.ru/gkm/index.php>.

158. План города Москвы издания Мосгоргеотреста Архитектурно-планировочного управления г. Москвы, 1952. Масштаб 1:10 000. Составлен по материалам съемок 1937-1942 гг. и рекогносцировке 1950 г., Москва [Электронный ресурс] // Retromap. – 2023. – Режим доступа: <http://retromap.ru/051952>.

159. План города Москвы с пригородами, 1912. Масштаб 1:21 000, 250 саж. в дюйме. Изд-во тов-ва Суворина «Новое время», Санкт-Петербург [Электронный ресурс] // Retromap. – 2023. – Режим доступа: <http://retromap.ru/0719151>.

160. План инструментальной топографической съемки города Москвы и ее окрестностей, 1838. Масштаб 1:8 400. Карта военных топографов, Москва [Электронный ресурс] // Retromap. – 2023. – Режим доступа: <http://www.retromap.ru/081838>.

161. План Москвы, 1927. Масштаб 1:21 000. Изд-во Московского коммунального хозяйства, Москва [Электронный ресурс] // Retromap. – 2023. – Режим доступа: <http://retromap.ru/061927>.

162. Смирнов, Н.Н. Нивелирный план города Москвы, составленный на основании тригонометрической сети по съемке и нивелировке города в 1874-77 гг., дополненный окрестностями топографической съемки 1878-86 гг. Масштаб 1:8 400 [Электронный ресурс] / Н. Н. Смирнов, Д. П. Рашков. – 2-е изд. – Москва : Московская Городская Дума, 1888. – Режим доступа: <http://retromap.ru/081888>.

163. Топографическая карта Московской губернии, 1852. Масштаб 1:42 000. Изд-во Военно-топографического депо, Санкт-Петербург [Электронный ресурс] // Retromap. – 2023. – Режим доступа: <http://retromap.ru/0818523>.

164. Транспорт [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. – 2022. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport>.

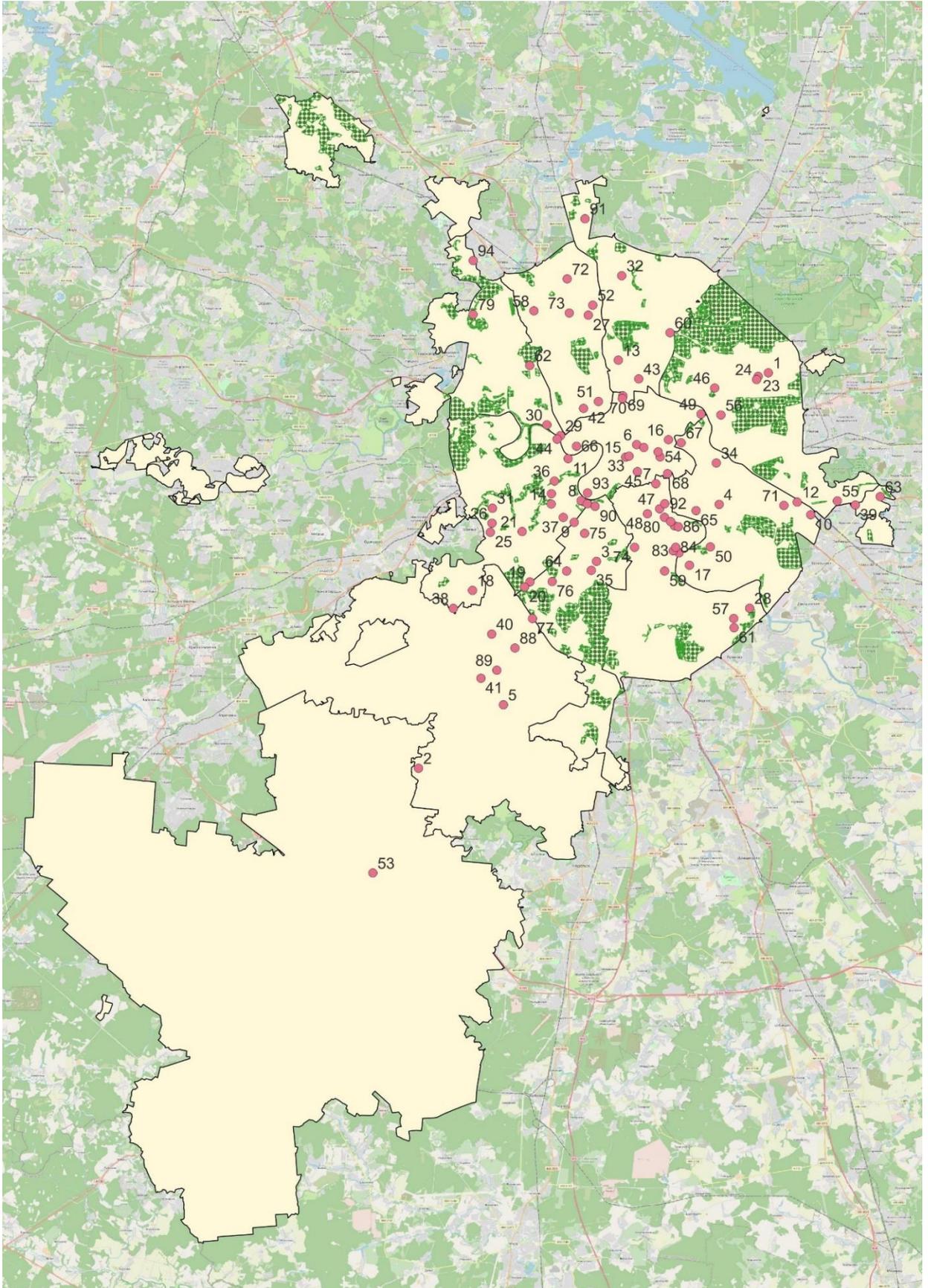
165. Фрунзенская ТЭЦ (ТЭЦ-12) [Электронный ресурс] // Музей истории Мосэнерго. – 2022. – Режим доступа: [https://www.mosenergo-museum.ru/History\\_of\\_Mosenergo/Historical\\_Review/19761/](https://www.mosenergo-museum.ru/History_of_Mosenergo/Historical_Review/19761/).

166. BGS Lexicon of Named Rock Units [Электронный ресурс] // British Geological Survey. – 2020. – Режим доступа: <https://www.bgs.ac.uk/technologies/the-bgs-lexicon-of-named-rock-units/>.

167. Goncharov, A. Глубина и конструкция станций московского метрополитена [Электронный ресурс] / A. Goncharov // LIVEJOURNAL. – 2014. – Режим доступа: <https://alexeygoncharov.livejournal.com/1429.html>.

Приложения

Приложение 1. Схема размещения объектов исследования



## Приложение 2. Журнал объектов исследования

Участок	Название объекта	Местоположение	Литологический состав насыпных грунтов*	Дата формирования массива	Ситуация	Геоморфологическая приуроченность**	Комплекс подстилающих четвертичных отложений	Глубина уровня грунтовых вод, м	Мощность насыпных грунтов, м	Дата изысканий
1	Северное Измайлово	ВАО, р-н Северное Измайлово	- суглинки п/тв местами карбонатные и слабозаторфованные, с прослоями песков, супесей и глин, с вкл. крошки и обломков кирпича, бетона, стекла, щепы древесины, гравия, дресвы, щебня, корней растений - пески различной крупности с прослоями суглинков и глин, с вкл. аналогичного состава	с 1950-х гг.	реновация жилого района, ранее на территории локально размещались свалки	Лосиноостровско-Измайловская равнина	пески, суглинки (f,lgQIIms), суглинки, глины (gQIIms), пески, супеси, суглинки, глины (f,lgQI-IIds-ms)	3,0-5,8	0,5-3,3 м	2019
2	Ватутинки	НАО, поселение Десёновское	суглинки т/пл, с вкл. строительного мусора (обломков кирпича, стекла, щебня)	до 1972 г.	строительство административного здания	Деснинско-Пахринская равнина	пески, суглинки (f,lgQIIms)	«верховодка» (1,1) 4,9-15,2	3,3-8,4 м	2019
3	Новые Черемушки	ЮЗАО, р-н Черёмушки	суглинки и глины, перемешанные с песком, гравием, обломками и крошкой кирпича, бетона, асфальта, с щепой и обломками древесины, осколками стекла, арматурой, проволокой, резиной, веревками, обломками керамики, местами с раздробленным известняком и со следами органических веществ	овраг засыпался с 1965 по 1987 гг.	строительство жилого дома на засыпанном отвалами метростроя овраге	Теплостанская возвышенность	пески (a,dQIV, aQIII), суглинки (gQIIms), супеси, суглинки, глины (f,lgQI-IIds-ms)	9,0-14,2	12,5-22,7	2008
4	Волгоградский пр-кт	ЮВАО, р-н Текстильщики	супеси, реже пески и суглинки, с вкл. до 10-25% строительного мусора (щебня кирпича, обломков бетона, остатков древесины, корней растений, шлака), с прослоями торфа	ранее 1966 г.	реконструкция дороги	II и III надпойменные террасы р. Москвы	пески, суглинки, торфы (l,plQIV, aQIV), пески (aQIII), суглинки (gQIds)	3,1-4,1	0,4-7,7 м	2013
5	Дорога Москва – Беларусь	НАО, поселение Сосенское	глины п/тв, с прослоями суглинков и супесей, с вкл. 5-10% строительного мусора (щебня кирпича, обломков бетона, асфальта, остатков древесины и корней растений)	-	реконструкция дороги	Теплостанская возвышенность, Долина р. Десны, Деснинско-Пахринская равнина	пески, суглинки, глины (aQIII), пески (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms), пески, суглинки (f,lgQI-IIds-ms)	«верховодка» (0,3-2,5) 2,4-9,5	0,1-4,9 м	2013
6	Кремль	ЦАО, Тверской р-н	пески средней крупности, с прослоями органоминерального грунта, с примесью органических веществ	древние культурные слои	реконструкция административного корпуса Кремля, закрепление грунтов основания	III надпойменная терраса р. Москвы	пески (aQIII)	7,0-8,0	до 2,5 м	2019
7	Жуков пр-д	ЦАО, Даниловский р-н	суглинки т/пл, с включением строительного мусора (битого кирпича, бетона, обломков древесины)	ранее 1966 г.	строительство здания	высокая пойма р. Москвы	глины, суглинки, пески (aQIV)	1,8-2,5	2,6-4,9	2017

Участок	Название объекта	Местоположение	Литологический состав насыпных грунтов*	Дата формирования массива	Ситуация	Геоморфологическая приуроченность**	Комплекс подстилающих четвертичных отложений	Глубина уровня грунтовых вод, м	Мощность насыпных грунтов, м	Дата изысканий
8	Воробьевы Горы	ЗАО, р-н Раменки	- пески мелкие с крошкой и обломками кирпича, бетона, местами со щепой древесины, кусками проволоки, осколками стекла - суглинки с аналогичным составом включений	с 1950-х гг.	реконструкция трамплина и наблюдение за оползневым склоном	правый борт долины р. Москвы	глины, суглинки, пески dp(fQII,gQII,K1)QIII-IV	0,2-38,0	0,3-13,7	2015
9	Пешеходный переход	ЮЗАО, Гагаринский р-н	суглинки с прослоями песка, гравия, щебня, древесины, кирпича	ранее 1966 г.	строительство подземного пешеходного перехода	Теплостанская возвышенность	глины (lQIII <sub>mik</sub> ), суглинки (gQII <sub>ms</sub> ), суглинки (f,lgQI-II <sub>ds</sub> -ms)	нет	0,6-6,8 м	2012
10	Выхино - Жулебино	ЮВАО, р-н Выхино-Жулебино	- пески средней крупности, прослоями мелкие и пылеватые, с прослоями суглинка т/пл - суглинки п/тв, с прослоями песков мелких, с щебнем кирпича, со строительным мусором до 15%	не ранее 1980 г.	строительство метро	III надпойменная терраса р. Москвы	торфы (l,plQIII-H), пески (aQII), пески, супеси, суглинки (a,fQI <sub>vk</sub> -ds)	1,8-7,7	0,2-3,7 м	2011
11	Деловой центр - Парк Победы	ЗАО, р-н Дорогомилово	пески пылеватые, реже суглинки и пески средней крупности	не ранее 1936 г.	строительство метро	долина р. Москвы	пески, суглинки (aQIII-IV), суглинки (gQII <sub>ms</sub> ), пески (f,lgQI-II <sub>ds</sub> -ms)	9,0-16,8	0,4-4,1 м гр. Пл. тер до 11,0 м ж/д насыпь	2011
12	Развязка Рязанский проспект	ЮВАО, р-н Выхино-Жулебино	пески средней крупности, с прослоями супесей и суглинков, с вкл. строительного мусора (щебень кирпича, обломки асфальта и бетона, остатки древесины и растительности) до 10%	с середины 1970-х гг.	реконструкция дорожной развязки	III надпойменная терраса р. Москвы	торфы (l,plQIII-H), пески (aQII), суглинки (gQII <sub>ms</sub> ), пески, суглинки (f,lgQI-II <sub>ds</sub> -ms)	4,4-13,5	0,5-3,0	2013
13	Марьино Роща - Петровско-Разумовская	СВАО, Бутырский р-н	пески средней крупности, мелкие и пылеватые, с прослоями суглинков т/пл, с щебнем кирпича, со строительным мусором до 15%	не ранее 1936 г.	строительство метро	Центрально-Московская возвышенность	суглинки (gQII <sub>ms</sub> ), пески, супеси (f,lgQI-II <sub>ds</sub> -ms)	2,9-9,4	0,5-7,0 м	2012
14	Парк Победы - Раменки	ЗАО, р-н Раменки	суглинки т/пл и п/тв, с прослоями песков различной крупности, с вкл. строительного мусора (щебня кирпича и бетона, древесной щепы и др.)	с середины 1960-х гг.	строительство метро	Одинцовско-Голицинская равнина, долина р. Сетуни	пески, суглинки (aQIII-IV), суглинки (prQIII), пески, суглинки (gQII <sub>ms</sub> , f,lgQI-II <sub>ds</sub> -ms)	3,0-8,0	0,3-12,0	-
15	Третьяковская - Волхонка	ЦАО, р-н Хамовники	пески различной крупности, с прослоями супесей и суглинков, с корнями растений и вкл. строительного мусора	-	строительство метро, засыпанный овраг. Черторый	пойма, I и II надпойменные террасы р. Москвы	пески (aQIII-IV, f,lgQI-II <sub>ds</sub> -ms)	7,0-9,0	2,3-7,8	-
16	Москва-Курская	ЦАО, Басманный р-н	пески гравелистые, средней крупности, мелкие, супеси тв и пл, суглинки т/пл, дресвяные и щебенистые грунты	с 1866 г.	реконструкция железнодорожных путей	Центрально-Московская возвышенность, Яузская равнина	пески (f,lgQI-II <sub>ds</sub> -ms), суглинки (gQI <sub>ds</sub> ), пески (a,fQI <sub>vk</sub> -ds)	«верховодка» (0,8-10,0) 4,0-6,0	3,0-12,0	2015-2018
17	Станция аэрации	ЮВАО, р-н Печатники	суглинки п/тв с прослоями песков средней крупности, с включением строительного мусора (обломков кирпича)	с 1975 г.	реконструкция станции аэрации	пойма, I и II надпойменные террасы р. Москвы	пески и суглинки (aQIII)	7,2-14,0	0,5-12,3	2015

Участок	Название объекта	Местоположение	Литологический состав насыпных грунтов*	Дата формирования массива	Ситуация	Геоморфологическая приуроченность**	Комплекс подстилающих четвертичных отложений	Глубина уровня грунтовых вод, м	Мощность насыпных грунтов, м	Дата изысканий
18	Солнцево	ЗАО, р-н Солнцево	суглинки т/пл, с включением гравия, щебня, обломков бетона	с конца 1980-х	строительство дорог и домов	Одинцовско-Голицинская равнина	суглинки (prQIII), пески, суглинки (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms)	2,3-10,2	0,5-4,7	2013
19	Юго-Западная - Тропарёво	ЗАО, Тропарёво-Никулино	суглинки п/тв, с прослоями песков, с включением до 30% строительного мусора (щебня кирпича, обломками бетона, асфальта, остатков древесины, шлака)	с 1980-х	строительство метро	Теплостанская возвышенность	суглинки (prQIII), пески, суглинки (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms), пески (f,lgQI-II ds-ms)	1,3-11,0	0,5-8,2	2012
20	Юго-Западная - Солнцево	ЗАО, Тропарёво-Никулино	- пески разной крупности - суглинки т/пл и п/тв, с щебнем кирпича и строительным мусором	с 1980-х	строительство метро, засыпанная р. Очаковка (верховья)	Теплостанская возвышенность	суглинки (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms), пески (f,lgQI-II ds-ms)	4,8-17,1	0,2-11,5	2012
21	ул. Озерная	ЗАО, р-н Очаково-Матвеевское	- строительный мусор с песчано-глинистым заполнителем - суглинки м/пл, т/пл, п/тв, с вкл. строительного мусора - суглинки м/пл, т/пл, п/тв, с вкл. дресвы и щебня	не ранее 1972 г.	строительство жилого комплекса и школы	Одинцовско-Голицинская равнина, долина р. Очаковки	пески, суглинки (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms)	4,7-5,6	0,3-7,0 м	2020
22	Эскалаторная галерея	ЗАО, р-н Раменки	- суглинки м/пл и т/пл с вкл. строительного мусора - пески мелкие с вкл. строительного мусора	появились в период с 1942 по 1966 г.	реконструкция эскалаторной галереи	правый борт долины р. Москвы	глины, суглинки, пески dp(fQII,gQII,K1)QIII-IV	1,8-30,7	1,0-4,6	2020
23	ул. Парковая 1	ВАО, р-н Северное Измайлово	пески мелкие, с вкл. строительного мусора	с 1950-х гг.	реконструкция медицинского комплекса	Лосиноостровско-Измайловская равнина	пески (f,lgQIIms), супеси, суглинки (gQIIms), пески (f,lgQI-II ds-ms)	8,6-11,6	0,4-1,5 м	2012
24	ул. Парковая 2	ВАО, р-н Измайлово	- пески мелкие - суглинки т/пл с вкл. строительного мусора	с 1950-х гг.	реконструкция медицинского комплекса	Лосиноостровско-Измайловская равнина	суглинки (gQIIms), пески (f,lgQI-II ds-ms)	10,8-13,0	3,6-8,0 м	2012
25	ул. Генерала Дорохова	ЗАО, р-н Очаково-Матвеевское	суглинки т/пл с щебнем, строительным мусором, местами с крупными обломками бетонных плит, остатков древесины	с 1970-х	строительство дороги, засыпанный ручей	Одинцовско-Голицинская равнина, долина р. Навершки	суглинки, пески (aQIV, prQIII, f,lgQIIms, gQIIms)	7,8-9,4	0,6-9,6	2013
26	дорога, ул. Рябиновая	ЗАО, р-н Очаково-Матвеевское	суглинки т/пл с включением до 10% щебня кирпича, с прослоями песка	с 1970-х	строительство дороги, засыпанный ручей	Одинцовско-Голицинская равнина, долина р. Навершки	суглинки (aQIV, prQIII), суглинки, пески (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms)	2,6-13,8	0,6-10,0	2013
27	Лихоборы	САО, р-н Западное Дегунино	суглинки т/пл, с щебнем кирпича, со строительным мусором до 15%, с прослоями песков средней крупности, мелких и пылеватых	с середины 1970-х	строительство электродепо на территории бывшей промзоны	Рублевско-Верхнеузская равнина	пески (f,lgQIIms, gQIIms, f,lgQI-II ds-ms)	0,2-3,4	0,4-7,0	2014
28	Братеево	ЮАО, р-н Братеево	суглинки т/пл с прослоями песков и супесей с вкл. строительного мусора	с 2007 г.	строительство электродепо на пойме	высокая пойма р. Москвы	пески, суглинки (aQIV)	«верховодка» (2,0-8,3) 3,1-11,8	1,0-12,0	2012

Участок	Название объекта	Местоположение	Литологический состав насыпных грунтов*	Дата формирования массива	Ситуация	Геоморфологическая приуроченность**	Комплекс подстилающих четвертичных отложений	Глубина уровня грунтовых вод, м	Мощность насыпных грунтов, м	Дата изысканий
29	Причальный пр-д	ЦАО, Пресненский р-н	пески средней крупности, с прослоями суглинков, с вкл. до 20% гальки, гравия, крошки и обломков кирпича, бетона, строительного мусора	с 1940-х гг.	строительство учебного корпуса на месте сноса школы	II надпойменная терраса р. Москвы	суглинки (f,lgQIIms)	4,2-13,4	1,8-4,3	2019
30	Силикатный пр-д	СЗАО, р-н Хорошево-Мневники	пески мелкие и средней крупности, с вкл. обломков кирпича и строительного мусора, с прослоями суглинков песчаных т/пл с щебнем кирпича	с 1950-х гг.	строительство жилого комплекса на засыпанном русле р. Ходынки	высокая пойма р. Москвы	пески, суглинки, глины, торф (aQIV)	1,5-10,6	1,0-8,3	2017
31	административный корпус, ул. Рябиновая	ЗАО, р-н Очаково-Матвеевское	суглинки п/тв с примесью песка, с крошкой и обломками кирпича, с битым стеклом, щепой древесины	с середины 1990-х гг.	строительство административного здания	Одинцовско-Голицинская равнина	глины (prQIII), суглинки, пески (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms)	нет	0,2-5,6	2019
32	ул. Бибиревская	СВАО, Алтуфьевский р-н	суглинки п/тв, с гравием, щебнем, со строительным мусором, с пестроцветными глинами и обломками мергеля, с растительными остатками	с середины 1970-х гг.	строительство типографии	Яузская равнина	суглинки (prQIII, gQIIms, gQIDs)	«верховодка» (0,5-4,0)	1,0-4,6	2006
33	Берсенеvская наб.	ЦАО, р-н Якиманка	хаотичное залегание песков от мелких до гравелистых, суглинков от т/пл до м/пл и супесей пл, с вкл. щебня кирпича, бетона и щепок перегнившей древесины	с начала XX в.	реконструкция ГЭС-2	высокая пойма р. Москвы	пески, супеси, суглинки, глины (aQIV)	«верховодка» (2,3-3,3) 0,9-2,7	0,0-11,7	2016
34	Авиамоторная - Некрасовка	ЮВАО, р-н Лефортово	пески мелкие	с начала XIX в.	подготовка территории к строительству ветки метрополитена	III надпойменная терраса р. Москвы	пески (aQII), суглинки (gQIDs), пески (a,fQIVk-ds)	3,0-6,8	1,8-4,9	2015
35	ул. Херсонская	ЮЗАО, р-н Черёмушки	суглинки с линзами и прослоями песков, с вкл. боя кирпича и бетона, осколками стекла, кусками резины, фрагментами металлоконструкций, влажные, по отдельным прослоям водонасыщенные	с 2007 г.	строительство высотного жилого комплекса на засыпанном отвалами метростроя овраге	Теплостанская возвышенность	глины (prQIII), суглинки (gQIIms), пески, супеси, суглинки (f,lgQI-Pds-ms)	«верховодка» (0,8-8,6) 18,2-21,7	12,0-19,0	2016
36	дублер Кутузовского проспекта	ЗАО, р-н Раменки	золы сухого удаления: пески пылеватые, перекрытые суглинками т/пл и песками средней крупности с прослоями гравелистых	с 1942 г.	строительство дороги на месте бывшего золоотвала ТЭЦ №12, перекрытого переотложенными грунтами	Москворецкая равнина	суглинки (gQIIms)	8,0-21,2	6,0-22,7	2016

Участок	Название объекта	Местоположение	Литологический состав насыпных грунтов*	Дата формирования массива	Ситуация	Геоморфологическая приуроченность**	Комплекс подстилающих четвертичных отложений	Глубина уровня грунтовых вод, м	Мощность насыпных грунтов, м	Дата изысканий
37	Территория МГУ	ЗАО, р-н Раменки	- суглинки и глины карбонатные, с крошкой и обломками кирпича, известняка и бетона (~5-25%), песком, гравием и щебнем, осколками стекла и плитки, кусками пластмассы и полиэтилена, обломками металла, обломками и щепой древесины, корнями растений - пески различной крупности, с комьями глины, крошкой и обломками кирпича, гравием, осколками стекла, обломками металла, щепой древесины - глины мергелистые, с крошкой и обломками известняка (~10-35%), с песком - известняки, разрушенные до щебня (~25-30%), дресвы (~25-40%) и муки (~30-40%), с прослоями пестроцветных глин (~5-20%)	до 1964 г.	строительство научно-административного здания	Теплостанская возвышенность	глины (rgQIII), пески, суглинки (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms), пески, суглинки (f,lgQI-Ilds-ms)	24,8-28,2	2,8-12,0	2021
38	Новопеределкино	ЗАО, Ново-Переделкино	суглинки, глины, реже пески, с вкл. обломков кирпича, бетона, известняка, щепы древесины, металлического лома, с остатками корней растений	с начала 2000-х	строительство горнолыжного склона	Одинцовско-Голицинская равнина	глины (rgQIII), пески, суглинки (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms)	«верховодка» (3,8-21,0)	0,2-41,5	2002
39	Полигон ТКО «Некрасовка»	ЮВАО, р-н Некрасовка	бытовые отходы, переотложенные юрские глины, строительные отходы, переотложенные органоминеральные грунты	с конца 1990-х	рекультивация полигона ТКО с целью строительства рекреационной зоны	III надпойменная терраса р. Москвы	торфы (l,plQIII-H), пески, супеси, суглинки (aQIII), пески, суглинки (f,lgQIIms)	«верховодка» (2,9-40,4) 3,5-10,9	до 45, 0	2015
40	Саларьево	НАО, поселение Сосенское	- суглинки пылеватые, т/пл, - бытовые отбросы с заполнителем: суглинки м/пл - суглинки песчанистые, п/тв - пески гравелистые	с 2007 г. (сам полигон с 1952-1966 гг.)	строительство электродепо	Теплостанская возвышенность	суглинки (rgQIII), суглинки (gQIIms), суглинки, глины (f,lgQI-Ilds-ms), суглинки (gQIlds)	«верховодка» (1,0-5,8) 5,5-8,2	до 12,5 м	2017
41	Сосенки	НАО, поселение Сосенское	суглинки и глины от тв до м/пл, локально тек, пески средней крупности, строительно-бытовой мусор, бетон, железобетон	с 2003 г.	строительство спортивно-событийного кластера	Теплостанская возвышенность	суглинки (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms)	0,3-33,8	14,0-40,0	2020

Участок	Название объекта	Местоположение	Литологический состав насыпных грунтов*	Дата формирования массива	Ситуация	Геоморфологическая приуроченность**	Комплекс подстилающих четвертичных отложений	Глубина уровня грунтовых вод, м	Мощность насыпных грунтов, м	Дата изысканий
42	Боткинский пр-д	СаО, р-н Беговой	- пески мелкие и средней крупности, с щебнем кирпича и бетона, с щепой древесины - кирпичная кладка и щебень, с содержанием строительного мусора, с примесью песка	с 1914 г.	обследование здания	III надпойменная терраса р. Москвы	пески (аQII), суглинки (gQIIms), пески (f,lgQI-II ds-ms)	7,0-9,6	1,6-3,6	2011
43	Нижняя Масловка - Рубцовская	СВАО, р-н Марьино Роша	суглинки т/пл, пески с прослоями супеси и глины, со строительным мусором	разновозрастные	строительство метро	Центрально-Московская возвышенность	суглинки, пески (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms), пески, супеси (f,lgQI-II ds-ms)	«верховодка» (1,5-6,0) 2,0-18,2	до 8,0	2018
44	Береговой пр-д	ЗАО, р-н Филевский Парк	суглинки песчаные т/пл	с 2015 г.	жилая застройка	высокая пойма р. Москвы	пески, суглинки (аQIV)	2,1-9,8	0,5-8,3	2016
45	ул. Большая Полянка	ЦАО, р-н Якиманка	пески мелкие с прослоями суглинков, с вкл. строительного мусора	-	реконструкция водопровода	II надпойменная терраса р. Москвы	пески (аQIII)	5,9-6,7	1,2-2,6	2016
46	ул. Большая Черкизовская	ВАО, р-н Преображенское	пески с вкл. строительного мусора (обломков кирпича, щебня)	с 1970-х гг.	строительство административного здания	II надпойменная терраса р. Яузы	пески (аQIII), пески, супеси, суглинки (f,lgQI-II ds-ms), суглинки (gQIds)	3,7-7,0	0,6-3,5	2017
47	ул. Автозаводская 1	ЮАО, Даниловский р-н	пески средней крупности, с гнездами суглинка, со строительным мусором, с щебнем, гравием, с обломками кирпича, бетона	с начала XX в.	удлинение пешеходного моста через ТТК	II надпойменная терраса р. Москвы	пески, суглинки (аQIII)	12,6-13,3	3,2-3,4	2016
48	ул. Автозаводская 2	ЮАО, Даниловский р-н	пески мелкие и средней крупности, с прослоями суглинков т/пл с вкл. обломков кирпича и строительного мусора	с начала XX в.	строительство жилого комплекса	высокая пойма р. Москвы	пески, суглинки (аQIV)	2,5-7,3	1,3-8,5	2016
49	ул. Гольяновская	ЦАО, Басманный р-н	суглинки и пески переложенные, с вкл. битого кирпича, стекла, с кусками бетона	с начала XX в.	строительство административного здания	левый борт долины р. Яузы	пески, суглинки (аQIII)	1,8-3,0	2,1-3,8	2016
50	ул. Гурьянова	ЮВАО, р-н Печатники	пески средней крупности, с вкл. гравия и щебня	с 1940-х гг.	строительство школы искусств на засыпанной р. Нищенке	пойма р. Москвы	пески, глины (аQIV), пески (а,fQIVk-ds)	2,0-3,0	0,6-2,2	2017
51	Ленинградский пр-кт	СаО, р-н Беговой	пески мелкие и средней крупности, с вкл. щебня и строительного мусора, с прослоями и гнездами суглинков	с начала XX в.	строительство многофункционального комплекса на засыпанной р. Пресне	III надпойменная терраса р. Москвы	пески (аQII)	1,6-2,6	1,1-3,3	2014
52	Бескудниковский мкр.	СаО, Бескудниковский р-н	супеси, суглинки, глины, с вкл. крошки и обломков кирпича, с щебнем, блоками бетона, корнями растений, редко с осколками стекла, кусками металла и щепой древесины	с начала 1960-х гг.	строительство жилого дома вблизи засыпанного Бескудниковского руч.	Рублевско-Верхнеяузская равнина	суглинки, пески (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms), пески, суглинки (f,lgQI-II ds-ms)	2,7-3,2	0,4-2,1	2014

Участок	Название объекта	Местоположение	Литологический состав насыпных грунтов*	Дата формирования массива	Ситуация	Геоморфологическая приуроченность**	Комплекс подстилающих четвертичных отложений	Глубина уровня грунтовых вод, м	Мощность насыпных грунтов, м	Дата изысканий
53	Красная Пахра	ТАО, поселение Краснопахорское	суглинки, с прослоями песка, с вкл. битого кирпича, бетона, осколками стекла	с 1970-хх гг.	реконструкция здания школы	Пахринско-Мочинская равнина	глины (rgQIII), суглинки, глины (f,lgQIIms), глины, суглинки (gQIIms), пески, супеси (f,lgQI-II ds-ms)	«верховодка» (2,2)	0,4-1,1	2015
54	ул. Нижняя Радищевская	ЦАО, Таганский р-н	пески средней крупности, с вкл. дресвы, щебня и строительного мусора	с 1995 г.	реконструкция исторического объекта	III надпойменная терраса р. Москвы	пески (aQIII), суглинки (gQIIms)	6,8-8,4	1,9-3,0	2014
55	ул. Дмитриевского	ВАО, р-н Косино-Ухтомский	пески мелкие и средней крупности, с прослоями суглинков, с вкл. щебня кирпича, строительного мусора (обломков бетонных плит, остатков древесины) до 15%	с 2005 г.	строительство метро	III надпойменная терраса р. Москвы	пески (aQIII), пески, супеси (f,lgQI-II ds-ms)	6,0-9,0 м	0,8-4,1	2015
56	ул. Бориса Жигуленкова	ВАО, р-н Соколиная Гора	супеси, с прослоями песков различной крупности, с вкл. гравия, гальки и строительного мусора	-	строительство школы	Яузская равнина	пески, суглинки (aQIII), пески (f,lgQIIms)	7,7-8,4	0,3-2,0	2015
57	ул. Кустанайская	ЮАО, р-н Зябликово	глины т/пл, с вкл. строительного мусора до 15-20%	с середины 1970-х гг.	строительство административного здания	Москворецкая равнина	пески, глины (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms)	«верховодка» (2,7-3,5)	0,9-1,5	2015
58	ул. Фестивальная	САО, р-н Левобережный	глины и суглинки тв и п/тв, с гравием и щебнем, крошкой и обломками кирпича, с корнями растений	с начала 1950-х гг.	строительство футбольного поля	Рублевско-Верхнеязузская равнина	глины (pl,lQIII mk), пески (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms)	1,4-5,8	0,3-3,7	2014
59	Дворец Алексея Михайловича	ЮАО, р-н Нагатинский Затон	суглинки м/пл, с прослоями песков, супесей, примазками глин, вкл. строительного мусора и остатками растений	с начала 2000-х гг.	реконструкция исторического объекта	Теплостанская возвышенность	пески (f,lgQIIms)	нет	1,1-1,4	2017
60	ул. Бажова	СВАО, р-н Ростокино	пески различной крупности, с вкл. строительного мусора	с 1940-х гг.	строительство административного здания	III надпойменная терраса р. Яузы	пески (aQII), суглинки (gQIds)	5,8-6,4	0,7-1,8	2017
61	Ореховый бульвар	ЮАО, р-н Зябликово	суглинки т/пл, с вкл. строительного мусора	с середины 1970-х гг.	строительство жилого комплекса	Москворецкая равнина	пески, глины (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms)	15,3-23,7	0,8-10,0	2017
62	Волоколамское ш.	СЗАО, р-н Щукино	пески мелкие и средней крупности, с прослоями суглинков от м/пл до тв, с вкл. строительного мусора до 30%	с начала XX в. и позднее	реконструкция шоссе	III надпойменная терраса р. Москвы	пески (aQII), пески (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms)	1,4-16,0	0,2-10,5	2015
63	р-н Некрасовка	ЮВАО, р-н Некрасовка	пески мелкие, с прослоями рыхлых, с прослоями супесей и суглинков	с 2017 г.	строительство жилого комплекса на территории бывших полей аэрации, замена заиленных грунтов более надежными	Яузская равнина	пески (aQIII), суглинки (gQIds), пески, суглинки (a,fQIVk-ds)	«верховодка» (2,2-7,4)	4,1-5,3	2017
64	ул. Бакинских комиссаров	ЮЗАО, р-н Коньково	суглинки т/пл, с включением до 25% строительного мусора (кирпич, бетон)	с конца 1970-х	прокладка коммуникаций	Теплостанская возвышенность	суглинки (gQIIms)	0,5-11,8	0,6-3,3	2017

Участок	Название объекта	Местоположение	Литологический состав насыпных грунтов*	Дата формирования массива	Ситуация	Геоморфологическая приуроченность**	Комплекс подстилающих четвертичных отложений	Глубина уровня грунтовых вод, м	Мощность насыпных грунтов, м	Дата изысканий
65	Южнопортовый	ЮВАО, р-н Печатники	- пески средней крупности, с вкл. гравия, щебня, строительного мусора до 10-15% - супеси пл, с вкл. гравия, гальки, строительного мусора до 15%.	с 1952 г.	строительство путепровода	высокая пойма р. Москвы	пески, суглинки (аQIV)	1,4-7,5	до 3,6	2014
66	Москва-Сити	ЦАО, Пресненский р-н	пески средней крупности, с вкл. >15% дресвы, остатков древесины и строительного мусора	с конца 1970-х гг.	реконструкция коммуникаций над засыпанным Ермаковским руч.	высокая пойма р. Москвы	пески, суглинки (аQIV)	«верховодка» (3,6-3,8)	1,4-3,4	2020
67	ул. Волочаевская	ЮВАО, р-н Лефортово	пески средней крупности, с прослоями суглинка т/пл, с вкл. до 25% дресвы и щебня	с начала XX в.	ремонт трамвайных путей	III надпойменная терраса р. Яузы	пески (аQII), суглинки (f,lgQIIms)	3,4-4,2	1,5-1,7	2019
68	Симоновский вал	ЦАО, Таганский р-н	пески средней крупности, с вкл. до 5% строительного мусора	с начала XX в.	ремонт трамвайных путей	II надпойменная терраса р. Москвы	пески (аQIII)	нет	0,6-1,2	2019
69	Минаевский пер.	СВАО, р-н Марьино	супеси пл, с вкл. строительного мусора	с начала XX в.	ремонт трамвайных путей	Центрально-Московская возвышенность	пески, супеси (f,lgQIIms)	2,0-2,7	3,7-5,0	2019
70	ул. Тихвинская	СВАО, р-н Марьино	пески средней крупности, с вкл. до 10% дресвы и щебня	с начала XX в.	ремонт трамвайных путей	Центрально-Московская возвышенность	пески (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms)	3,5-3,9	1,2-1,6	2019
71	Юго-Восточная	ЮВАО, р-н Выхино-Жулебино	пески мелкие, с вкл. кирпича, бетона и другого строительного мусора до 15 %	с середины XX в.	благоустройство территории	III надпойменная терраса р. Москвы	пески (аQII)	1,3-5,1	1,0-3,1	2020
72	ул. Ангарская	САО, Дмитровский р-н	пески и суглинки с редкой крошкой кирпича и строительного камня	с начала 2000-х гг.	реконструкция велодрома	Рублевско-Верхнеяузская равнина	глины (prQIII), глины (pl,lQIIIms), пески (f,lgQIIms), глины, суглинки (gQIIms)	нет	0,6-0,8	2015
73	Лихачевский пер.	САО, Головинский р-н	пески средней крупности и суглинки м/пл с вкл. строительного мусора	с середины 1960-х гг.	реконструкция водопровода	Рублевско-Верхнеяузская, II надпойменная терраса р. Лихоборки, равнина	пески (аQIII), суглинки (gQIIms)	3,1-4,1	0,8-3,2	2017
74	Мосэлектрофольга	ЮАО, Нагорный р-н	- суглинки и глины с примесью песка, с содержанием щебня кирпича, известняка, бетона, гниющей щепы, древесины, металлолома - шлаки и золы, местами сцементированные, с крошкой кирпича, песком, комками глины, обломками стекла, щепы древесины, металлолома, влажные и водонасыщенные	с 1913 г.	реконструкция завода	Теплостанская возвышенность	глины (prQIII), пески, глины (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms)	«верховодка» (0,5-6,6)	0,4-23,3	1988
75	Черемушкинский рынок	ЮЗАО, Гагаринский р-н	суглинки т/пл, песчанистые, с включением щебня кирпича >10%	начало 1970-х	строительство метро, засыпанная р. Чура	Теплостанская возвышенность	суглинки (аQIV, prQIII), суглинки (gQIIms), суглинки (f,lgQI-IIms)	3,9-19,0	0,5-23,0	1977

Участок	Название объекта	Местоположение	Литологический состав насыпных грунтов*	Дата формирования массива	Ситуация	Геоморфологическая приуроченность**	Комплекс подстилающих четвертичных отложений	Глубина уровня грунтовых вод, м	Мощность насыпных грунтов, м	Дата изысканий
76	ул. Академика Опарина	ЮЗАО, р-н Коньково	- суглинки т/пл с примесью песка, с гравием, щебнем, с щепой древесины, осколками стекла и керамической плитки, с обрывками проводов, с кусками проволоки и железа, углём и бытовым мусором - пески различной крупности (преимущественно средней) с комьями глины, с дресвой и щебнем, с аналогичным составом включений	с 1992 г.	строительство метро	Теплостанская возвышенность	глины (rgQIII), пески (f,lgQIIms), глины, суглинки (gQIIms)	«верховодка» (2,0-6,6) 1,0-11,5	0,2-12,4	2016
77	Славянский мир	НАО, поселение Мосрентген	- суглинки т/пл с примесью песка, с включениями обломков кирпича, строительного камня (15-30 до 50%), с щепой древесины, обрывками проводов, проволоки, осколками стекла, углем, мусором, с остатками растений - пески средней крупности с аналогичным составом включений	с начала 2000-х	строительство метро	Теплостанская возвышенность	пески, супеси, суглинки, глины (a,lgQIV), глины (rgQIII), пески, супеси, суглинки (f,lgQIIms)	«верховодка» (2,4-4,0) 0,3-8,5	0,8-8,0	2017
78	ул. Мосфильмовская	ЗАО, р-н Раменки	- суглинки и глины с примесью песка, со строительным и бытовым мусором, с органическими остатками - пески гравелистые	с конца 1970-х	строительство жилого комплекса	Одинцовско-Голицинская равнина, пойма р. Раменки	пески, супеси, суглинки, глины, сапропели (aQIV), суглинки (qQIIms), пески, суглинки (f,lgQI-II ds-ms)	«верховодка» (0,3-10,0) 3,0-23,0	1,0-29,4	2001
79	мкр. Братцево	СЗАО, р-н Северное Тушино	суглинки п/тв и м/пл со строительным мусором (обломками кирпича, бетона, металла, дерева) 5-20%, в верхней части с навалами бетонных плит, в нижней части с навалами древесины (разрушенных построек), с линзами песков и супесей	с 1980-х	строительство жилого комплекса	Рублевско-Верхнеузская равнина	суглинки, пески (f,lgQIIms), суглинки (gQIIms), пески, супеси (f,lgQI-II ds-ms)	«верховодка» (5,3) 11,1-12,5	0,5-7,0	2001
80	территория ЗиЛ	ЮАО, Даниловский р-н	пески средней крупности с вкл. строительного мусора (обломков кирпича)	с начала XX в.	строительство административного здания	высокая пойма р. Москвы	суглинки и пески (aQIV)	1,0-4,1	0,5-2,7	2017
81	причал Коломенское	ЮАО, р-н Нагатинский Затон	пески мелкие, неоднородные, с гравием и галькой до 5%, с прослоями суглинков т/пл и песков пылеватых, с вкл. строительного мусора и остатков растений	-	строительство причала	высокая пойма р. Москвы	пески (aQIV)	1,1-4,3	2,6-2,7	2017
82	пр-кт Андропова 1	ЮАО, р-н Нагатинский Затон	суглинки текучие, с прослоями супесей и песков, с примесью орг. в-в до 5%, с вкл. строительного мусора до 5%	с начала 1970-х г.	строительство жилого комплекса и школы	высокая пойма р. Москвы	пески (aQIV)	1,8-5,0	5,2-8,7	2020
83	пр-кт Андропова 2	ЮАО, р-н Нагатинский Затон	- суглинки дресвяно-щебенистые от м/пл до п/тв - пески средней крупности и	с 1980 г.	культурно-развлекательное пространство	высокая пойма и I надпойменная терраса р. Москвы	глины, пески (aQIV и aQIII), пески (f,lgQI-II ds-ms)	1,2-4,6	0,4-4,4	2020

Участок	Название объекта	Местоположение	Литологический состав насыпных грунтов*	Дата формирования массива	Ситуация	Геоморфологическая приуроченность**	Комплекс подстилающих четвертичных отложений	Глубина уровня грунтовых вод, м	Мощность насыпных грунтов, м	Дата изысканий
			гравелистые, с включениями строительного мусора							
84	пр-кт Андропова 3	ЮАО, р-н Нагатинский Затон	- пески мелкие и средней крупности с редкими прослоями суглинков т/пл, с вкл. строительного мусора до 10% - суглинки т/пл с прослоями песков мелких, с вкл. мусора строительного до 10%.	с 1980 г.	благоустройство территории парка	I надпойменная терраса р. Москвы	пески (аQIII)	10,3-10,5	2,0-3,2	2020
85	пр-кт Андропова 4	ЮАО, Даниловский р-н	пески с вкл. строительного мусора (битого кирпича, бетона, гравия), с примесью орг. в-в	с начала XX в.	строительство комплекса (отель, магазины, бизнес-центр)	высокая пойма р. Москвы	суглинки, пески, дресвяные грунты (аQIV)	2,9-5,0	2,9-5,0	2018
86	Южный речной причал	ЮАО, р-н Нагатинский Затон	- суглинки п/тв и м/пл, с прослоями песков и глин, с вкл. обломков кирпича, строительного и бытового мусора, загрязненные нефтепродуктами, с примесью орг. в-в. - пески различной крупности, с прослоями суглинков, с аналогичным составом включений	с начала XX в.	реконструкция причала	высокая пойма р. Москвы	глины, суглинки, пески (аQIV)	2,9-4,5	1,0-6,5	2021
87	Парк Зарядье	ЦАО, Тверской р-н	- пески средней крупности, глины, суглинки, с крошкой и обломками кирпича и бетона (10-15%), местами с прослоями бетона, с щебнем, гравием, кусками арматуры и проволоки, битым стеклом, с щепой древесины, местами заторфованные - встречается древняя кирпичная кладка мощностью 0,2-3,3 м	древние культурные слои	строительство "Парящего моста"	высокая пойма р. Москвы	глины, суглинки, пески (аQIV)	3,8-6,5	2,3-10,5	2016
88	дороги в пос. Мосрентген	НАО, поселение Сосенское	суглинки т/пл, с вкл. от 10% до 20% строительного мусора	с 2011 г.	строительство дороги на месте частично засыпанной р. Сосенки	Теплостанская возвышенность, долина р. Сосенки	глины, суглинки, пески (а, f, lgQII), суглинки (gQII)	1,8-8,5	0,3-5,0	2020
89	дорога д. Сосенки	НАО, поселение Сосенское	суглинки т/пл, местами м/пл, с вкл. до 10% строительного мусора (гравия, дресвы, щебня кирпича и обломков бетона)	с 2015 г.	строительство дороги	Теплостанская возвышенность, долина р. Сосенки	суглинки и пески (аQIII), суглинки (prQIII и gQIIms)	«верховодка» (0,2-0,5) 0,3-6,2	0,3-1,8	2017
90	здание Яндекса	ЮЗАО, Гагаринский р-н	суглинки тв., с вкл. битого кирпича и щебня, с прослоями песков	с 1970-х гг.	отсыпка грунта и строительного мусора на ранее застроенных территориях	Теплостанская возвышенность	суглинки и супеси (f, lgQIIms)	13,1-15,0	1,0-4,1	2017
91	Долгопрудный, школа	СВАО, р-н Северный	суглинки т/пл, с прослоями песков мелких, с вкл. обломков кирпича и строительного мусора	с 2006 г.	строительство школы на бывших отсыпанных промплощадках	Зеленоградско-Химкинская возвышенность	суглинки (prQIII и gQIIms), суглинки и пески (f, lgQI-Пds-ms)	8,0-14,3	0,3-2,1	2017

Участок	Название объекта	Местоположение	Литологический состав насыпных грунтов*	Дата формирования массива	Ситуация	Геоморфологическая приуроченность**	Комплекс подстилающих четвертичных отложений	Глубина уровня грунтовых вод, м	Мощность насыпных грунтов, м	Дата изысканий
92	ул. Автозаводская	ЮАО, Даниловский р-н	пески средней крупности с комьями суглинков, с вкл. гравия и щебня, обломками кирпича до 10%	с начала XX в.	строительство станций МЦК	II надпойменная терраса р. Москвы	суглинки и пески (aQIII), суглинки (gQIIms)	7,8-10,3	1,1-4,1	2015
93	Лужники	ЦАО, р-н Хамовники	пески, суглинки и глины, с крошкой и обломками кирпича, бетона, асфальта, с дресвой и гравием, с керамзитом, со щепой древесины и корнями растений, с битым стеклом, кусками пластмассы, труб и железа	с 1950-х гг.	строительство стадиона Лужники	высокая пойма р. Москвы	глины, пески (aQIV)	1,5-6,0	1,0-6,6	2014
94	Куркино	СЗАО, р-н Куркино	глины т/пл, с прослоями песков, с вкл. щебня, гравия и строительного мусора	с начала 2000-х гг.	строительство жилого комплекса	Зеленоградско-Химкинская возвышенность	глины и пески (lQIII mik), суглинки и глины (gQIIms)	4,0-8,2	0,5-5,1	2015
95	Яузская городская больница	ЦАО, Таганский р-н	пески пылеватые с прослоями средней крупности и крупных, с вкл. до 10% строительного мусора	конец XVIII в.	реконструкция исторического объекта	III надпойменная терраса р. Москвы	пески (a,fQIIms), суглинки (gQIIms)	12,3-22,0	0,3-7,2	2019

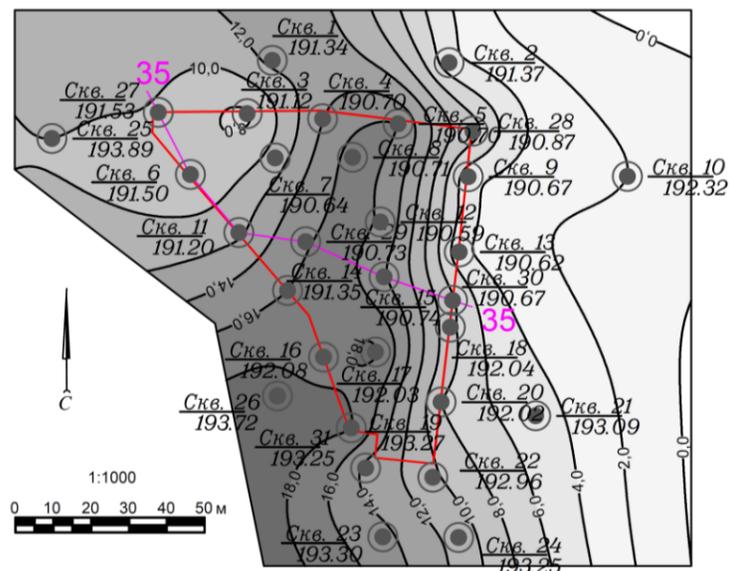
Примечание:

\* – принятые сокращения консистенции глинистых грунтов: пл – пластичная, м/пл – мягкопластичная, т/пл – тугопластичная, п/тв – полутвердая, тв – твердая;

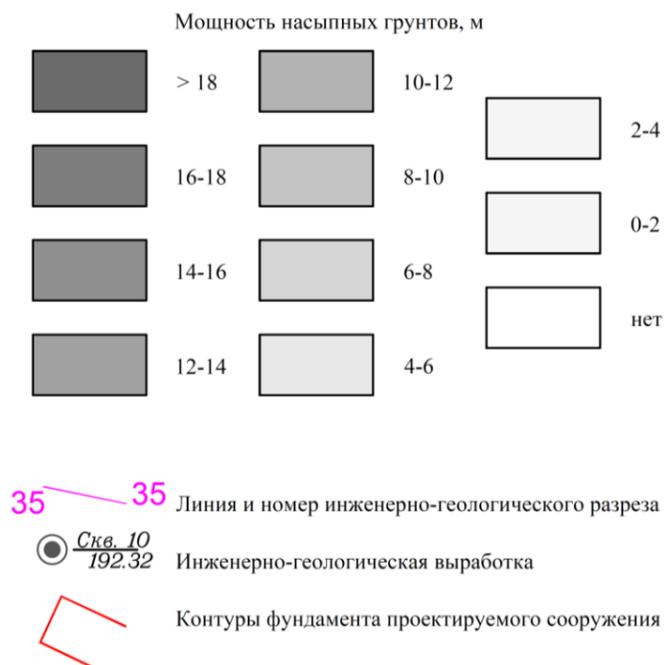
\*\* – элементы рельефа указаны в соответствии с геоморфологическим районированием территории Москвы в новых границах [85].

Участок 35 «ул. Херсонская»

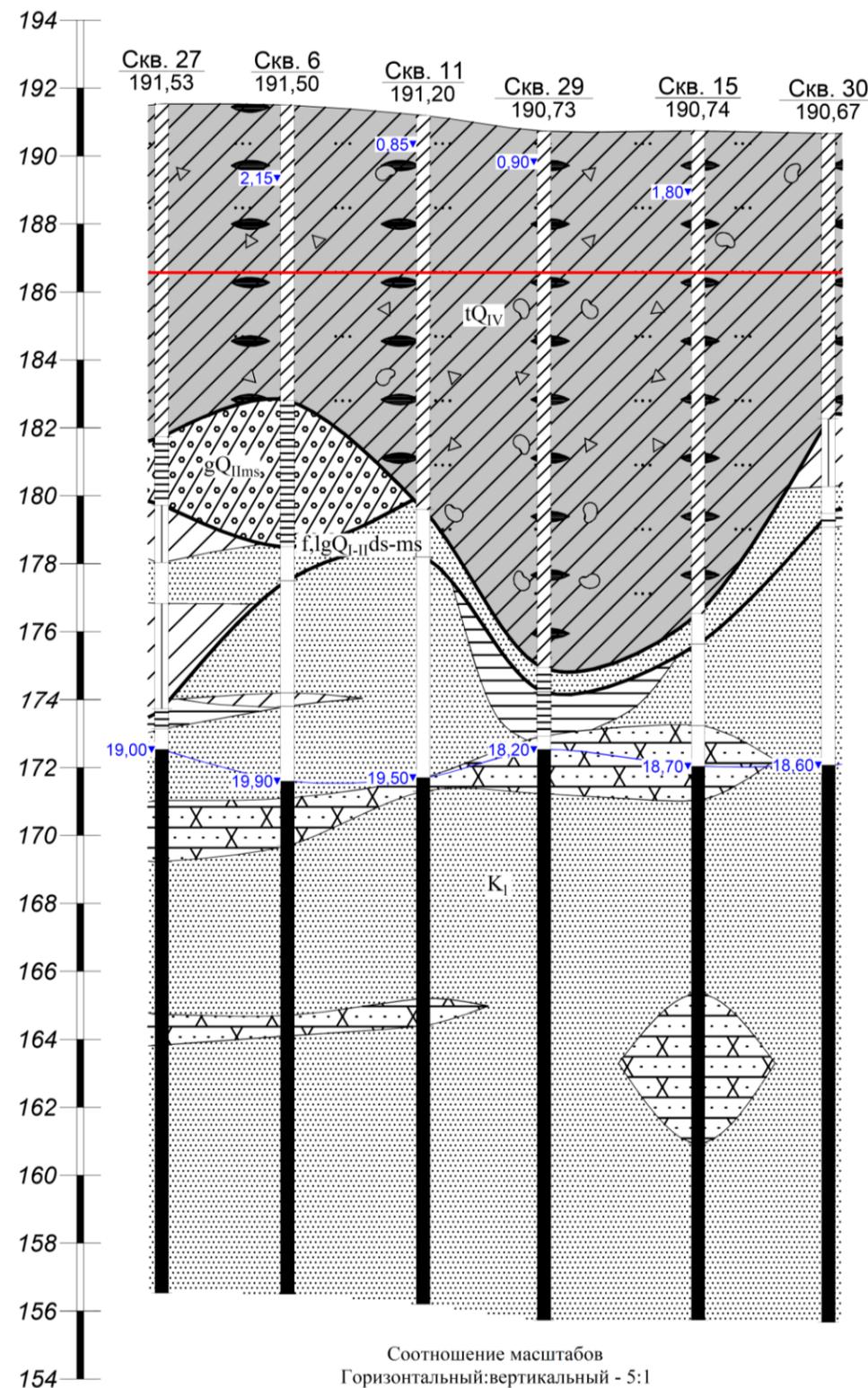
Карта фактического материала и мощности насыпных грунтов



Условные обозначения к карте

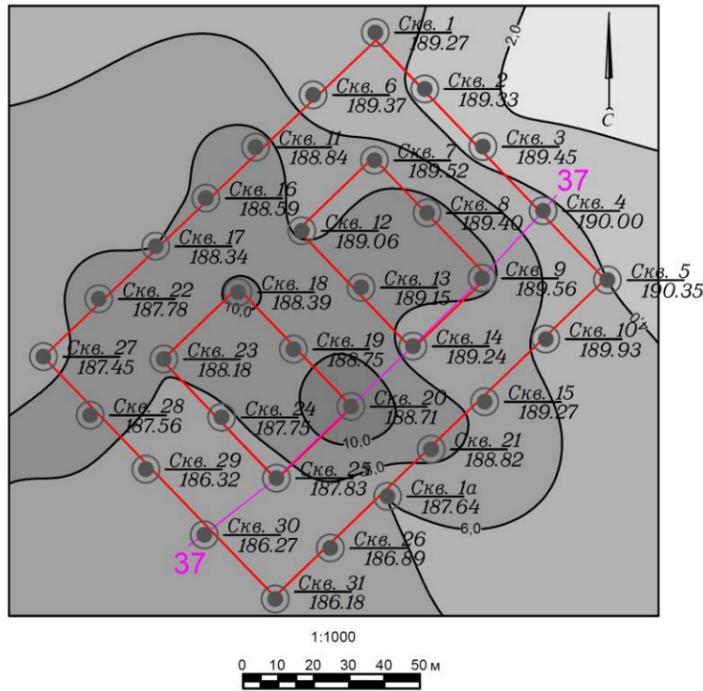


Инженерно-геологический разрез по линии 35-35



Участок 37 «Территория МГУ»

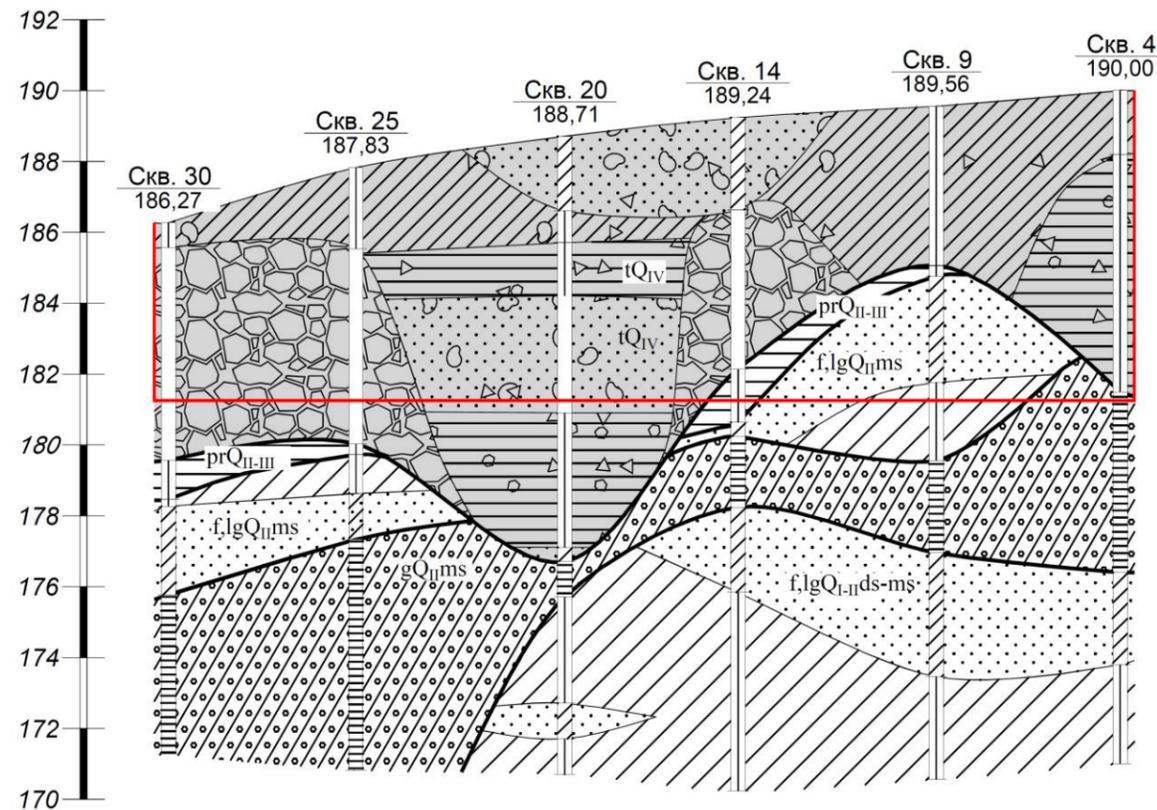
Карта фактического материала и мощности насыпных грунтов



Условные обозначения к карте

Мощность насыпных грунтов, м	
	> 10,0
	8,0-10,0
	6,0-8,0
	4,0-6,0
	2,0-4,0
	< 2,0

Инженерно-геологический разрез по линии 37-37



Соотношение масштабов  
Горизонтальный:вертикальный - 5:1

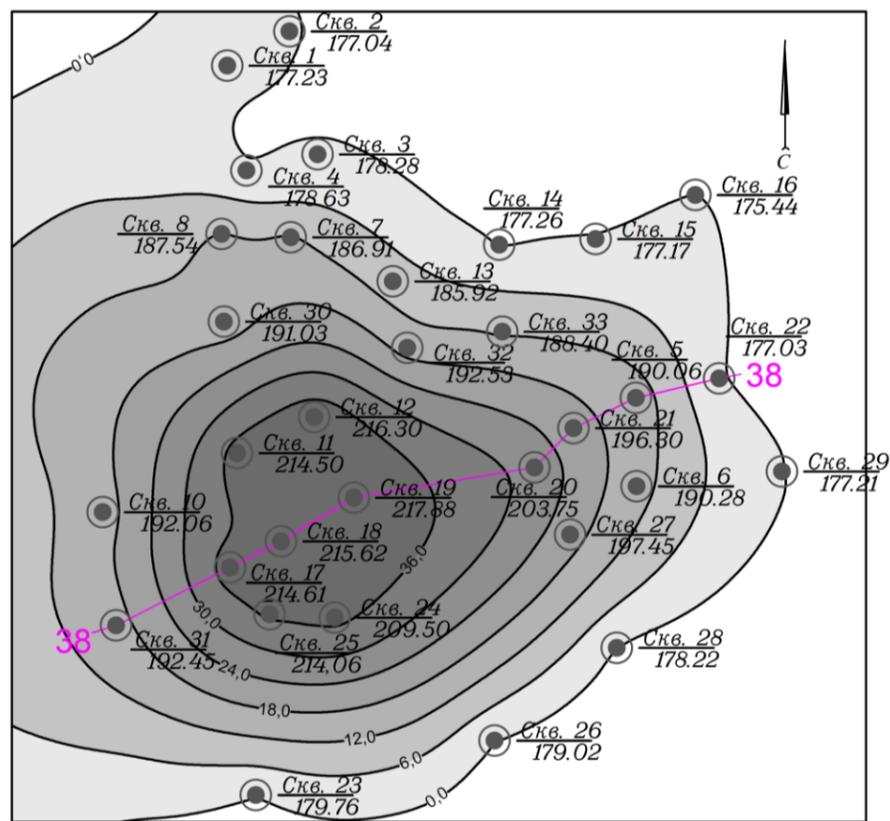
	37	Линия и номер инженерно-геологического разреза		Стратиграфические границы
	Скв. 31 186.18	Инженерно-геологическая выработка		Литологические границы
		Контуры фундамента проектируемого сооружения		Фундамент проектируемого сооружения

Условные обозначения к разрезу

Современные техногенные отложения:	
	Суглинки и глины карбонатные, с крошкой и обломками кирпича, известняка и бетона (~5-25%), песком, гравием и щебнем, осколками стекла и плитки, кусками пластмассы и полиэтилена, обломками металла, обломками и щепой древесины, корнями растений
	Пески различной крупности, с комьями глины, крошкой и обломками кирпича, гравием, осколками стекла, обломками металла, щепой древесины
	Глины мергелистые, с крошкой и обломками известняка (~10-35%), с песком
	известняка, разрушенные до щебня (~25-30%), дресвы (~25-40%) и муки (~30-40%), с прослоями пестроцветных глин (~5-20%)
	Средне- и верхнечетвертичные покровные отложения: глины тугопластичные пылеватые, слоистые
Среднечетвертичные водно-ледниковые отложения московского горизонта	
	Пески средней крупности и пылеватые плотные, малой степени водонасыщения, с вкл. гравия и щебня, с глинистыми прослоями
	Суглинки тугопластичные, песчаные, слоистые, с гнездами и прослоями песка, с вкл. гравия и щебня
	Среднечетвертичные ледниковые отложения московского оледенения: суглинки тугопластичные и полутвердые, песчаные, с прослоями песков, с вкл. до 10% дресвы, щебня и гравия
Нижне- и среднечетвертичные флювиогляциальные, ледниково-озерные, аллювиальные и озерные отложения верхней части донского и нижней части московского горизонтов:	
	Пески пылеватые плотные, средней степени водонасыщения, с глинистыми прослоями
	Суглинки тугопластичные с вкл. гравия и щебня, с прослоями песков

Участок 38 «Новоперedelкино»

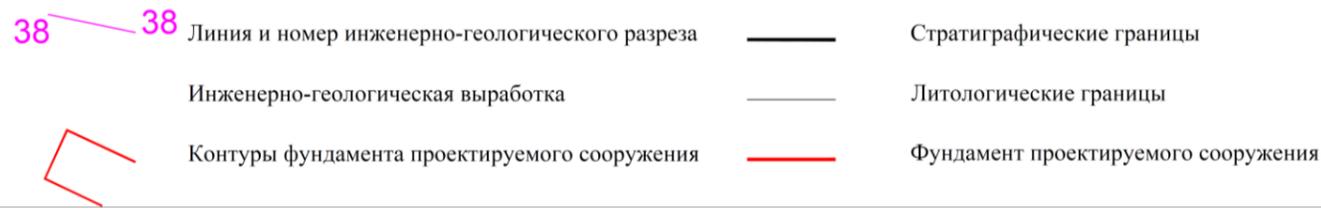
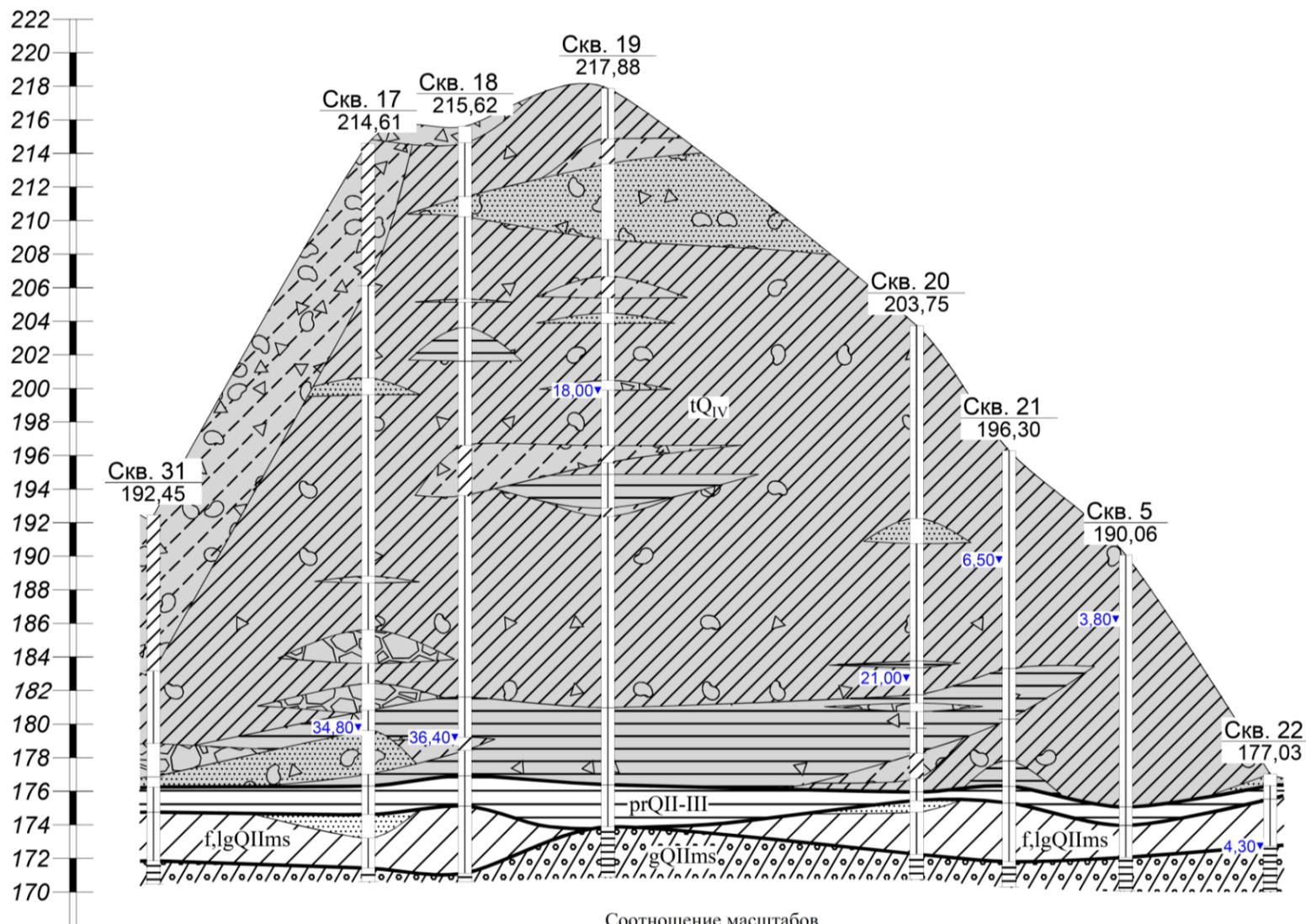
Карта фактического материала и мощности техногенных отложений



Условные обозначения к карте

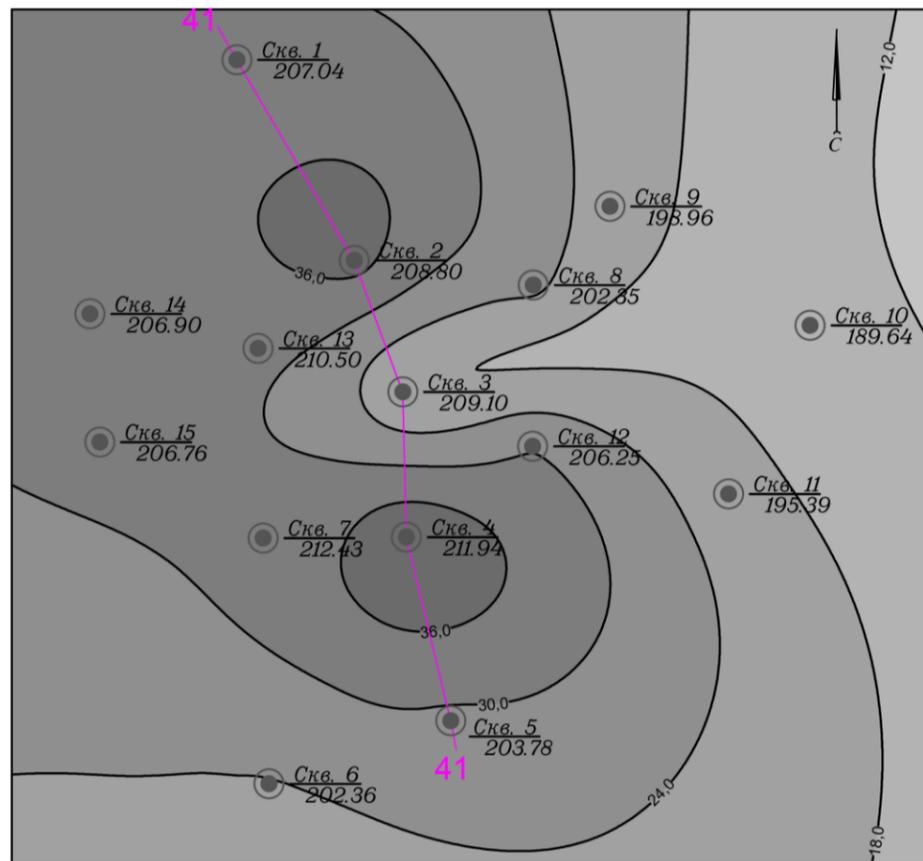


Инженерно-геологический разрез по линии 38-38



Участок 41. Полигон приема строительных грунтов «Сосенки»

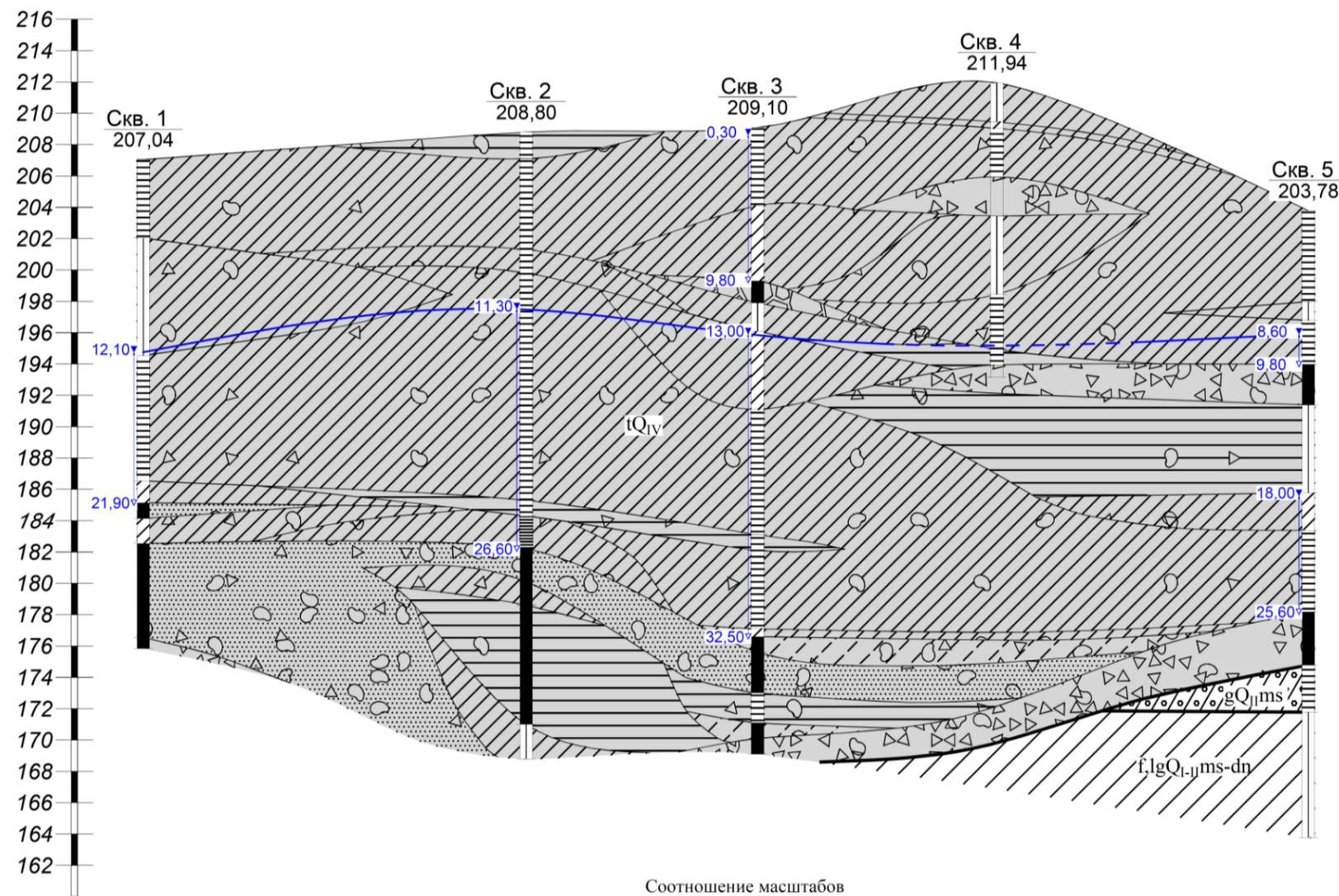
Карта фактического материала и мощности насыпных грунтов



Условные обозначения к карте

Мощность насыпных грунтов, м		
[Dark Grey Box]	> 36	[Light Grey Box]
[Medium-Dark Grey Box]	30-36	[Medium-Light Grey Box]
[Medium Grey Box]	24-30	[Lightest Grey Box]
[Light Grey Box]	18-24	[Very Light Grey Box]
[Very Light Grey Box]	12-18	[White Box]
[White Box]	< 12	

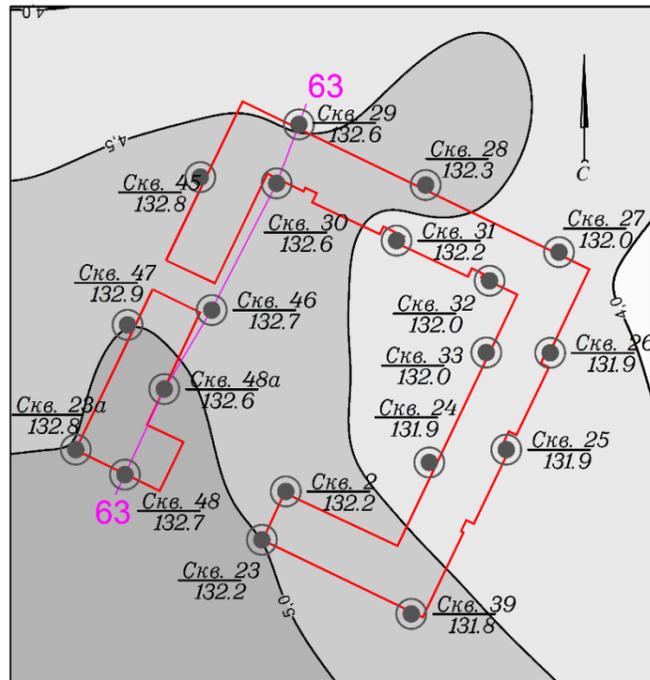
Инженерно-геологический разрез по линии 41-41



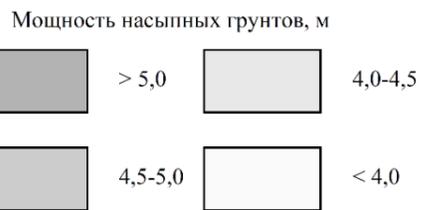
41 — 41 Линия и номер инженерно-геологического разреза — Стратиграфические границы  
 Инженерно-геологическая выработка — Литологические границы

Участок 63 «р-н Некрасовка»

Карта фактического материала и мощности насыпных грунтов

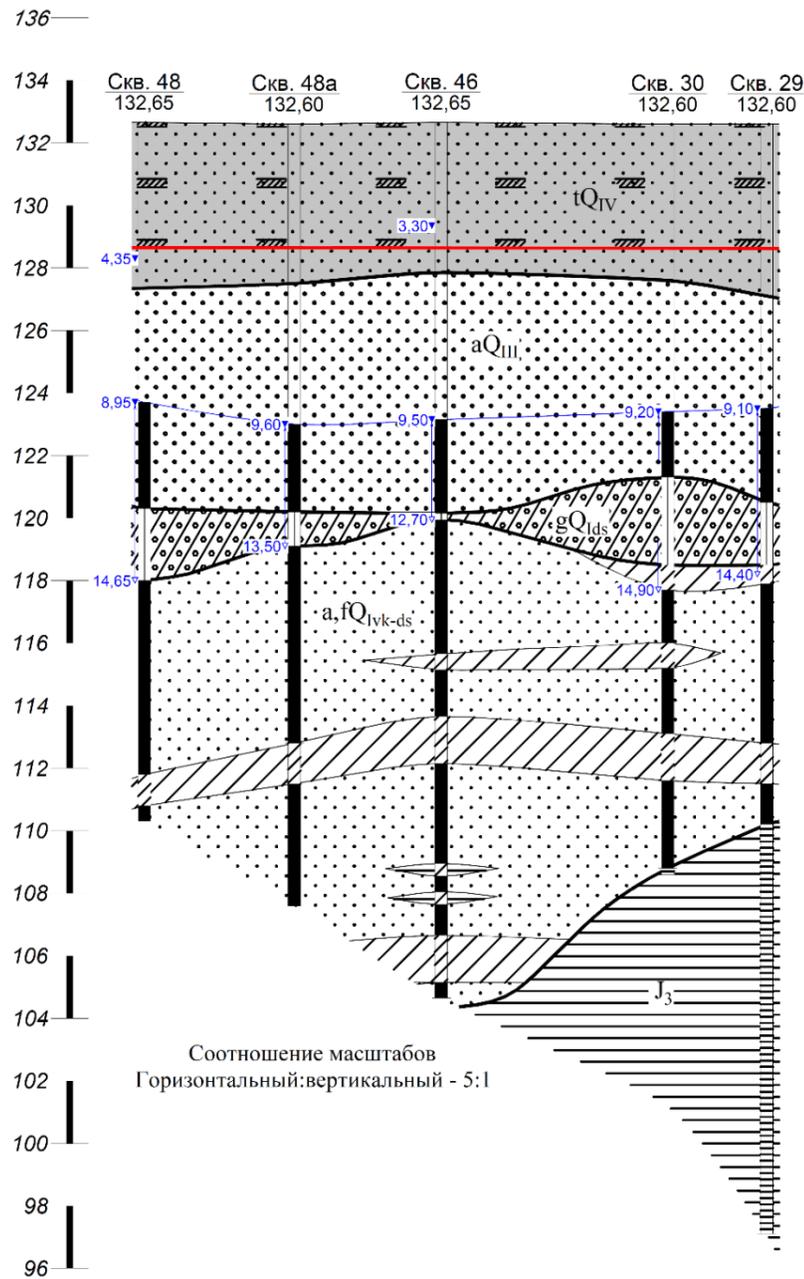


Условные обозначения к карте



- 63 Линия и номер инженерно-геологического разреза
- Скв. 2 / 132.2 Инженерно-геологическая выработка
- Контурсы фундамента проектируемого сооружения

Инженерно-геологический разрез по линии 63-63



Соотношение масштабов  
Горизонтальный:вертикальный - 5:1

Условные обозначения к разрезу

- Современнeе техногенные отложения: пески мелкие, с прослоями рыхлых, с прослоями супесей и суглинков
- Верхнечетвертичные аллювиальные отложения: пески средней крупности, мелкие и пылеватые, средней плотности, средней степени водонасыщения и водонасыщенные
- Нижнечетвертичные ледниковые отложения донского оледенения: суглинки тугопластичные с прослоями песков, с вкл. до 10% дресвы, щебня и гравия
- Нижнечетвертичные флювиогляциальные, ледниково-озерные, ледниковые, аллювиальные и озерные отложения внуковской серии - нижней части донского горизонта:
- Пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности, водонасыщенные, с прослоями супесей текучих, песков средней крупности и гравелистых
- Суглинки мягкопластичные с примесью органического вещества
- Глины мягкопластичные, с прослоями тугопластичных глин и водонасыщенных песков, с низким содержанием органического вещества
- Верхнеюрские отложения: глины полутвердые, с вкл. остатков фауны, слюдястые
- Стратиграфические границы
- Литологические границы
- Фундамент проектируемого сооружения