

# Техногенные грунты

Для студентов  
учреждений  
высшего образования



---

# Техногенные грунты

*Допущено  
Министерством образования  
Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия  
для студентов  
учреждений высшего образования  
по специальности  
«Геология и разведка месторождений  
полезных ископаемых»*

Минск  
 «Вышэйшая школа»  
2020

---

УДК 624.131.1(075.8)  
ББК 26.3я73  
Т90

Авторы: *А.Н. Галкин, А.Ф. Акулевич, А.И. Павловский, О.И. Галезник*

Рецензенты: кафедра региональной геологии географического факультета Белорусского государственного университета (профессор кафедры доктор геолого-минералогических наук *А.Ф. Санько*); заведующий кафедрой географии и природопользования учреждения образования «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина» доктор геолого-минералогических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси *М.А. Богдасаров*

**Техногенные грунты** : учебное пособие / А. Н. Галкин [и др.]. – Т90 Минск : Вышэйшая школа, 2020. – 192 с. : ил.  
ISBN 978-985-06-2579-3.

Учебное пособие нацелено на выработку у специалистов-геологов системы знаний о составе, свойствах, методах и способах формирования техногенных грунтов, а также особенностях инженерно-геологических изысканий на территориях их распространения.

Для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» специализации «Инженерная геология и гидрогеология». Может быть полезно для студентов и магистрантов естественнонаучных факультетов, специалистов в области почвоведения, экологии, строительства и других специальностей, имеющих отношение к изучению верхних горизонтов литосферы как объекта инженерной деятельности человека.

**УДК 624.131.1(075.8)**  
**ББК 26.3я73**

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.*

**ISBN 978-985-06-2579-3**

© Оформление. УП «Издательство  
“Вышэйшая школа”», 2020

---

# ВВЕДЕНИЕ

---

Актуальность спецкурса «Техногенные грунты» для специалистов инженеров-геологов обусловлена интенсивным накоплением и широким распространением на поверхности Земли различных техногенных образований, являющихся объектом инженерно-геологических изысканий в качестве оснований зданий и сооружений, среды для размещения городских коммуникационных сетей и т.п., а также материала инженерных сооружений (дорог, насыпей, дамб, земляных плотин и т.д.).

Целью спецкурса является углубленное знакомство студентов с разнообразиями техногенных грунтов, их классификацией, составом, свойствами, методами и способами формирования, а также особенностями инженерно-геологических изысканий на территориях их распространения.

В инженерной геологии к моменту создания данной дисциплины искусственные образования были описаны Ф.В. Котловым (1978) в работах, посвященных изменению геологической среды под влиянием деятельности человека, М.И. Хазановым в монографии «Искусственные грунты, их образование и свойства» (1975). Обзорная информация «Использование промышленных отходов для устройства оснований зданий и сооружений» была составлена Ю.М. Лычко (1982), которая систематизировала опыт возведения различных промышленных сооружений на искусственных грунтах. Ю.М. Абелевым и В.И. Крутовым (1962) в монографии «Возведение зданий и сооружений на насыпных грунтах» отражены особенности насыпных грунтов, а Е.Ф. Винокуровым и А.С. Карамышевым (1980) в книге «Строительство на пойменно-намывных основаниях» — особенности намывных грунтов. Обширная информация о техногенных грунтах содержится в учебниках и монографических изданиях нового поколения, среди которых следует отметить классический учебник «Грунтоведение» коллектива авторов под ред. В.Т. Трофимова (2005), учебное пособие Е.Н. Огородниковой и С.К. Николаевой «Техногенные грунты» (2004, 2017), монографии «Инженерная геология России. Т. 1. Грунты России» под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королева (2011), «Инженерная геология Беларуси. Ч. 1: Грунты Беларуси» А.Н. Галкина под науч. ред. В.А. Королева (2016). Все эти работы легли в основу читаемого курса и настоящего учебного пособия.

При написании пособия авторы придерживались понятий и терминов, принятых в современной учебной и научной литературе по грунтоведению, а также в отечественных инженерно-геологических нормативно-методических документах. При этом следует заметить, что в действующем в Республике Беларусь государственном стандарте СТБ 943–2007 «Грунты. Классификация» понятие «техногенный грунт» отсутствует. Вместо него фигурирует понятие

---

«искусственный грунт». Согласно нормативному документу, это грунт природного происхождения, закрепленный или уплотненный различными методами, насыпной и намывной, а также твердые отходы производств и бытовые. Данной формулировке, по нашему мнению, как и по мнению многих других специалистов (А.П. Афонин, Е.А. Вознесенский, И.С. Дудлер, Р.С. Зянгиров, В.А. Королев, Ю.М. Лычко, С.К. Николаева, Е.Н. Огородникова, В.Т. Трофимов и др.), свойственны определенные недостатки:

- понятие «искусственный» фактически не допускает применения в указанной формулировке понятия «природный» и не объясняет генезис происхождения этого типа отложений, которые образуются прежде всего за счет технической деятельности человека;
- отсутствует упоминание о важном типе естественных грунтов, которые изменены нецеленаправленным техногенным воздействием, что приводит к их разуплотнению и разупрочнению;
- должен быть сделан акцент на то, что в процессе техногенной деятельности человека происходит образование новых типов отложений, причем чаще всего путем планомерных и сознательных мероприятий;
- понятия «насыпные», «намывные», «уплотненные», «закрепленные» — это классификационные таксоны, которых не должно быть в общей формулировке.

Из сказанного следует, что в вышеприведенном определении «искусственный грунт» необходимо заменить на «техногенный грунт», поскольку последнее более точно характеризует происхождение этих отложений и охватывает как измененные естественные грунты, так и новые материалы, не имеющие аналогов в природе по своему вещественному составу.

Учебное пособие «Техногенные грунты» подготовлено коллективом авторов из числа преподавателей учреждений высшего образования, много лет занимающихся изучением грунтов территории Беларуси, в том числе и техногенных. Оно рассматривается как базовый элемент учебно-методического и дидактического обеспечения соответствующего спецкурса, содержит различный иллюстративный, фактический и табличный материал, что делает его полезным и в практике инженерно-исследовательских и строительных работ.

Авторы считают своим долгом выразить глубокую признательность заслуженному работнику высшей школы Российской Федерации, профессору кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, члену-корреспонденту РАЕН доктору геолого-минералогических наук, профессору В.А. Королеву за ценные предложения, позволившие улучшить структуру и содержание данного учебного пособия.

## Общее понятие о техногенных грунтах, их классификация и факторы образования

---

На поверхности литосферы при проведении различных строительных и горных работ, в результате производственной деятельности человека образуется достаточно большое количество отложений, представляющих собой или отходы хозяйственной деятельности человека (отвалы шахт, заводов, городские свалки и т.д.), или отложения, специально созданные человеком в строительных и производственных целях (намывные грунты, грунты обратной засыпки, насыпи дорог и т.д.). Эти образования получили название техногенных грунтов, иногда именуемых антропогенными.

В настоящее время именно под *техногенными грунтами* понимают естественные грунты и почвы, измененные и перемещенные в результате производственной и хозяйственной деятельности человека, и антропогенные образования.

Под *антропогенными образованиями* следует понимать твердые отходы производственной и хозяйственной деятельности человека, в результате которой произошли коренные изменения состава, структуры и текстуры природного минерального и органического сырья.

Техногенные грунты получили широкое распространение на селитебных территориях, в местах добычи и переработки полезных ископаемых, вдоль линейных сооружений различного назначения, на сельскохозяйственных землях и др. Процесс их образования и накопления с наибольшей интенсивностью происходит главным образом в районах крупных городов и промышленных объектов. Объем этих отложений значителен и постоянно возрастает. К началу XXI в. мировой объем всех разновидностей техногенных осадков достиг 1500 млрд м<sup>3</sup> [1]. Не является исключением в этом процессе и территория Беларуси. По региональной оценке [2], техногенные отложения на территории республики встречаются повсеместно. По подсчетам, за последние два века в стране под влиянием антропогенного фактора перемещено примерно 10 млрд м<sup>3</sup> грунтов, а с учетом вспашки – около 25 млрд м<sup>3</sup>. При этом авторы оценки отмечают, что техногенное преобразование грунтов на территории Беларуси происходило и происходит крайне неравномерно. Даже средние значения коэффициента техногенной трансформации грунтов (в десятках тысяч метров кубических на квадратный километр) варьируют в

интервале от 4,7 до 34,3, локальные же показатели изменяются практически от 0 до 4000.

Техногенные грунты относятся к специфическим грунтам. Они характеризуются неоднородным составом и строением, высокой изменчивостью свойств в пространстве и времени. Массивы техногенных грунтов образуют своеобразные формы техногенного рельефа. Составление прогноза взаимоотношений массивов техногенных грунтов с окружающей природной средой представляется сложной задачей. Специальные исследования техногенных грунтов при инженерно-геологических изысканиях практически не проводятся; нормативно-методическая база не разработана из-за существующего многообразия техногенных грунтов и, главное, их малой изученности.

Идея необходимости изучения техногенных грунтов была высказана академиком Е.М. Сергеевым в конце 1970-х – начале 1980-х гг. в связи с решением задач по охране геологической среды. С тех пор она постоянно развивается и совершенствуется.

За последние несколько десятилетий представлено довольно много различных частных, региональных и общих классификаций техногенных грунтов. Одной из первых отечественных стала частная классификация планомерно возведенных насыпных грунтов Ю.М. Абелева и В.И. Крутова [3] (табл. 1.1). В опубликованной через 20 лет Ю.М. Лычко [4] классификации техногенных грунтов как оснований сооружений (табл. 1.2) показано значение однородности состава и строения, важным следствием чего является постоянство (или, наоборот, изменчивость) физико-механических свойств грунтов. Автором выделены планомерно возведенные насыпи, отвалы грунтов и отходов производств, а также свалки грунтов, отходов производств и бытовых отходов. В составе техногенных грунтов помимо природных дисперсных разностей присутствуют шлаки, золы, хвосты и пр. Давность отсыпки указывает на завершенность (или, наоборот, развитие) литогенетических преобразований в насыпных грунтах (слежавшиеся, неслежавшиеся) [4].

*Таблица 1.1. Классификация планомерно возведенных насыпных грунтов [3]*

Способ отсыпки	Состав	Время консолидации, месяцы
Гидротранспорт	Песчаные	2
	Пылеватые	
	Глинистые	
Автомобильный, железнодорожный транспорт	Песчаные	4–6
	Пылеватые	
	Глинистые	

Разработаны частные классификации техногенных месторождений [5], техногенных видов минерального строительного сырья [6], в которых техногенные грунты в отвалах промышленных и строительных отходов представляются в качестве техногенного сырья и даже указываются возможные направления его «вторичного» использования [7].

Таблица 1.2. Классификация техногенных грунтов как оснований сооружений [4]

Однородность состава и сложения	Способ отсыпки	Состав	Давность отсыпки
Планомерно возведенные насыпи	Отсыпанные гидро-транспортом (намывные грунты)	Песчаные, песчано-пылеватые, глинистые	Слежавшиеся, неслежавшиеся
Отвалы грунтов и отходов производств	Отсыпанные гидро-транспортом	Зола ТЭЦ, хвосты обогатительных фабрик	
	Отсыпанные по откосу сразу на высоту	Песчаные, глинистые четвертичных отложений и коренных пород	
	Отвалы отходов производств	Шлаки, формовочная земля, зола, хвосты обогатительных фабрик, неорганические отвалы строительных производств и пр.	
Свалки грунтов, отходов производств и бытовых отходов	Отсыпанные по откосу сразу на всю высоту, отсыпанные слоями	С содержанием органических веществ: до 10%, от 10 до 30%, от 30 до 60%, более 60% (бытовые отбросы)	

К региональным классификациям техногенных грунтов можно отнести классификацию антропогенных отложений Ташкента [8], классификацию техногенных отложений Западного Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса (КАТЭК) [9], классификацию техногенных отложений Москвы [10] и др. Их появление обусловлено освоением территорий, где техногенные грунты приобрели широкое площадное распространение.

Наиболее высокому уровню теоретического обобщения накопленного материала соответствуют, как известно, общие классификации. Первой стала классификация антропогенных отложений, предложенная Ф.В. Котловым [11] (табл. 1.3). В ней выделены четыре таксона: *группа* (обособлена по условиям образования – наземные, подводные, подземные), *генетический комплекс* (связан с технологией образования – насыпные, намывные, искусственно преобразованные и т.д.), *надкласс* (определяется видом деятельности – строительные, горные, промышленные и др.), *класс* (содержит краткую характеристику отложений). Несмотря на некоторую нечеткость в таксономических признаках

Таблица 1.3. Классификация антропогенных отложений [11]

Группа	Генетический комплекс	Надкласс	Класс
Наземные	Насыпные	Строительные	Насыпные террасы и стройплощадки, земляные сооружения, подсыпки, грунтовые подушки, грунтовые строительные отвалы, строительные свалки
		Горные	Отвалы подземных и поверхностных выработок
		Промышленные	Отходы разных производств
		Хозяйственно-бытовые	Курганы, могильники, площадные культурные слои, свалки хозяйственно-бытовых отходов
	Намывные	Строительные	Грунты намывных площадей, грунты намывных сооружений
		Горные	Гидроотвалы вскрышных пород
		Промышленные	Гидронамыв хвостохранилищ и дисперсных отходов производства
		Хозяйственно-бытовые	Гидротранспортированные отходы
Подводные	Отложения искусственных водоемов	Отложения водохранилищ	Класс не нормируется
		Отложения каналов	
		Отложения прудов	
	Искусственные подводные грунты	Грунты подводных сооружений	Класс не нормируется
		Грунтовые отвалы	
		Мусорные свалки	
	Антропогенно-природные осадки естественных водоемов	Речные	
		Озерные	
		Морские и океанические	

Подземные	Искусственно преобразованные в естественном залегании	Горные	При подземной добыче горным способом, при добыче подземным растворением, при подземной газификации, при подземной перегонке сланцев, при термическом выплавлении, остаточные продукты подземных пожаров
		Строительные	Грунты необратимо мелиорированные
	Погребенные инородные тела и сооружения	Строительные	Подземные части зданий и сооружений, засыпанные города, поселки, ирригационные сооружения, дороги
		Горные	Материал закладки и тампонирования выработок, накопление подземного культурного слоя
		Хозяйственно-бытовые	Насыпные грунты в подземных местах обитания, селитебные кладбища, погребенные колодцы, хранилища
		Военные	Скопления металлических средств поражения, остатки подземных военных сооружений, засыпанные окопы, траншеи и воронки, засыпанные рвы, линейные галереи, погребения людей и животных на полях сражений

деления и их соблюдении, классификация Ф.В. Котлова стала безусловным достижением в науке: она наглядно показала специфику отложений, обязанных своим происхождением человеку. Автором было выделено около 40 классов антропогенных отложений, среди которых земляные сооружения, строительные свалки, курганы и могильники, гидроотвалы вскрышных пород, грунты необратимо мелиорированные, засыпанные дороги, скопления металлических средств поражения и др. [12].

Общая классификация искусственных грунтов М.И. Хазанова [13] состоит из двух частей (таблиц) – типизации по условиям образования и классификации по составу и свойствам (табл. 1.4, 1.5).

Таблица 1.4. Типизация искусственных грунтов по условиям формирования [13]

Подгруппа	Тип	Подтип
способ образования	технология образования	источник накопления
Намытые	Организованный намыв, неорганизованный намыв	Горнотехническая деятельность Инженерная деятельность
Отсыпанные	Планомерная отсыпка (последоная или на всю мощность), непланомерная отсыпка (последоная или на всю мощность)	Сельскохозяйственная деятельность Военная деятельность Бытовая деятельность
Измененные на месте	Разрыхленные, увлажненные; уплотненные, упрочненные	
Грунты культурного слоя	Непланомерно образованные	

В первой таблице (табл. 1.4) по условиям формирования техногенных (у автора – искусственных) грунтов выделены три таксона: *подгруппы* по способу образования – намытые, отсыпанные, измененные на месте, грунты культурного слоя; *типы* по технологии образования – организованный намыв, непланомерная отсыпка и пр.; *подтип* по источнику накопления (различным видам деятельности) – инженерной, бытовой, военной и др.

Во второй таблице (табл. 1.5) *вид* обусловлен составом грунта (крупно-обломочный, преимущественно песчаный или глинистый, смешанный); *подвид* определяется крупностью материала (в соответствии с составом), а далее выделяются пять *разновидностей* (порядков) по особенностям строения, состояния, свойств и способности к упрочнению. При этом один и тот же критерий, например плотность сложения, может иметь разный порядок – от I для песчаных грунтов до III для глинистых в зависимости от своей значимости. Для нескольких разновидностей техногенных грунтов автором даны численные значения критериев, что является достоинством.

Очевидно, что перед М.И. Хазановым стояла трудноразрешимая задача: как соединить генетическую часть общей классификации техногенных грунтов с собственно инженерно-геологической? В итоге эти две части остались самостоятельными. В разработках М.И. Хазанова имеются полезные идеи, которые в будущем еще будут использованы [7].

Таблица 1.5. Классификация искусственных грунтов по составу и свойствам [13]

Вид	Подвид	Разновидность порядков			
		состав грунта	крупность материала	I	II
Крупнообломочный	Валунный, глыбовый, галечниковый, щебнистый, гравийный, дресвяный	По виду заполнителя (песчаный, глинистый, песчано-глинистый)	По плотности сложения (плотный, средней плотности, рыхлый)	По содержанию 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, $d_{60}/d_{10} = 3-7$ ; очень неоднородный, $d_{60}/d_{10} > 7$ )	По динамической устойчивости (устойчивый, $p_g > 5$ МПа; обладающий склонностью к разжижению, $20 < p_g < 50$ МПа; разжижаемый, $p_g < 20$ МПа)
Преимущественно глинистый	Супеси ( $1 \leq I_p \leq 7$ ), суглинки ( $7 \leq I_p \leq 17$ ), 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; среднезасоленные, 0,3–1; сильнозасоленные, более 1)
Смешанный (преимущественно минеральный, менее 10% органического вещества; преимущественно органический, более 60% органического вещества)	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)

Примечание:  $I_p$  – число пластичности;  $d$  – диаметр частиц;  $p_g$  – давление на грунт.

---

В 1990 г. в журнале «Инженерная геология» коллективом авторов (А.П. Афонин, И.С. Дудлер, Р.С. Зиангиров, Ю.М. Лычко, Е.Н. Огородникова, Д.В. Спиридонов, Э.Р. Черняк, Д.С. Дроздов) была опубликована новая для того времени общая классификация техногенных грунтов [14] (табл. 1.6). В ней *классы* выделялись по способу формирования – техногенно образованные, переотложенные и измененные; *группы* – по виду деятельности (источнику формирования); *подгруппы* – по технологии образования – насыпные, намывные, измененные физическим или физико-химическим воздействием (здесь же указывались формируемые массивы грунтов – свалки, отвалы, гидроотвалы и др., непосредственно связанные с типом грунтов). Центральным звеном классификации стал *тип* грунтов. Всего было выделено 26 типов, среди них шлаки металлургические, золы, шламы, грунты намывных территорий, химически модифицированные и др. Тип грунтов связывал генетическую часть классификации с более мелкими таксонами – *подтипом* (обусловленным строением, дисперсностью), *видом* (наиболее важными особенностями при литогенетических преобразованиях – химически активные, свежееотсыпанные, упрочненные и пр.) и *разновидностью* (по показателям вещественного состава и физико-механических свойств, которые в самой классификации не были прописаны). Несмотря на ряд недостатков (например, в названиях типов грунтов, необходимости добавить новые виды, регламентировать показатели состава и свойств), эта классификация 1990 г. стала новым достижением в обобщении знаний о техногенных грунтах [7].

На основе данной классификации Е.Н. Огородникова и С.К. Николаева [15] составили генетическую классификацию техногенных грунтов. Наиболее крупные таксоны сохранены почти без изменений. *Подгруппы* характеризуют массивы грунтов, тесно связанные с технологией их образования. В классах техногенно образованных и техногенно переотложенных грунтов, в которых грунты формируются способами отсыпки и намыва, подгруппы выделяются по условиям залегания грунтов в массиве: планомерно образованные, отвалы, свалки. Последовательность размещения подгрупп в классификации отражает различия в неоднородности состава и строения формируемых в геологической среде тел (массивов), изменчивость их свойств.

Свалки – это наиболее неупорядоченные отложения. Планомерно образованные грунты характеризуются определенными заранее заданными свойствами, достижение которых обеспечивается комплексом организационных и технологических мероприятий. Отвалы занимают промежуточное положение между свалками и планомерно образованными сооружениями из природных материалов.

Таблица 1.6. Классификация техногенных грунтов [14]

Класс	Группа	Подгруппа		Тип	Подтип	Вид	Разновидность
Техногенно образованные	По виду деятельности (источнику формирования): строительное, горное, промышленное производство, коммунальное хозяйство	Насыпные	Свалки	Твердые коммунальные и бытовые отходы Грунты культурного слоя	Блочные, скальные и полускальные, песчаные, пылеватые, глинистые	Рыхлые, уплотнившиеся	По показателям вещественного состава и физико-механических свойств
			Отвалы	Шлаки металлургические Шламы		Распавшиеся, нераспавшиеся	
Намывные		Гидроотвалы	Золошлаки Золы Шламы	Химически активные Инертные			
				Свежеотсыпанные Уплотнившиеся			
Техногенно переотложенные		Насыпные	Отвалы	Горного производства (открытая и подземная разработка полезных ископаемых) Строительные		Рыхлые Средней плотности	
			Планомерно отсыпанные массивы	Грунты земляных сооружений Грунты подготовленных для строительства территорий		Свеженамывные	
Техногенно измененные	Намывные	Гидроотвалы	Горного производства Хвосты обогащения	Уплотнившиеся Упрочнившиеся			
			Планомерно намытые	Грунты земляных сооружений Грунты намывных территорий	Упрочненные		
Техногенно измененные	Измененные физическим воздействием	Планомерно и нецеленаправленно сформированные массивы	Уплотненные Разуплотненные Замороженные Оттаявшие Обезвоженные	Разупрочненные			
			Измененные физико-химическим воздействием		Увлажненные Осушенные Химически модифицированные Химически закрепленные		

---

В классе техногенно измененных грунтов подгруппы выделяются по признаку целенаправленности формирования массивов грунтов: он либо присутствует, либо нет. В большинстве случаев человек специально меняет состав, строение и свойства грунтов, добываясь нужного их качества (управляет свойствами). Примером могут служить массивы скальных грунтов с цементированными или тампонированными трещинами. В других случаях массивы грунтов формируются нецеленаправленно — в основаниях золоотвалов и хвостохранилищ, в зонах влияния горных выработок и др.

Наиболее важным таксоном является *тип* техногенных грунтов, неразрывно связанный с их генезисом и определяемый составом и строением. Приведенный в классификации перечень типов грунтов можно пополнять, он, безусловно, не охватывает всего многообразия техногенных грунтов, но дает о них представление. Структурные особенности техногенных грунтов в основном определяют их *подтипы* — массивные, блочные, крупнообломочные, песчаные, пылеватые, глинистые. Среди подтипов блочные грунты (химически закрепленные, некоторые виды металлургических шлаков и др.) представлены отдельными блоками или глыбами разного размера, причем блоки и глыбы часто трещиноваты. Нижней границей выделения этого подтипа можно принять размер 1 м при условии, что блоков и глыб крупнее 1 м в общей массе грунта более 50%. Если глыб и блоков меньше, то грунт считается крупнообломочным. Все остальные границы деления подтипов устанавливаются согласно ГОСТ 25100-2011.

В современных нормативных документах Беларуси (СТБ 943-2007. Грунты. Классификация) техногенные грунты выделяются на уровне *типов* в классах скальных, дисперсных и мерзлых грунтов. Их подразделение на *виды* почти не регламентировано. *Разновидности* выделяются те же, что и для природных грунтов, — по физическим, физико-механическим, химическим свойствам и состоянию.

В учебной литературе, например в учебниках по грунтоведению, подготовленных в МГУ имени М.В. Ломоносова и выдержавших шесть изданий, каждый раз перерабатывающихся с учетом новых знаний о грунтах, техногенные (или искусственные) грунты занимали отведенное им место в общей классификации грунтов. В последнем издании 2005 г. техногенные (искусственные, антропогенные) грунты отнесены к отдельному царству и подразделяются на *классы* (по общему характеру структурных связей), *группы* (по характеру структурных связей с учетом их прочности), *подгруппы* (по происхождению и условиям образования), *типы* (по вещественному составу), *виды* (по наименованию грунтов) [16]. Учитывая, что учебный спецкурс «Техногенные грунты» является развернутой составной частью обширного курса «Грунтоведение», в дальнейшем при характеристике техногенных грунтов будем придерживаться их общей классификации [16; 17] с учетом некоторых изменений и уточнений. В соответствии с этим среди техногенных грунтов (на уровне подгруппы согласно классификации) выделяются:

- природные грунты, измененные в условиях естественного залегания;
- природные грунты, перемещенные с мест естественного залегания в процессе строительной или иной производственной деятельности;
- антропогенные образования (рис. 1.1).

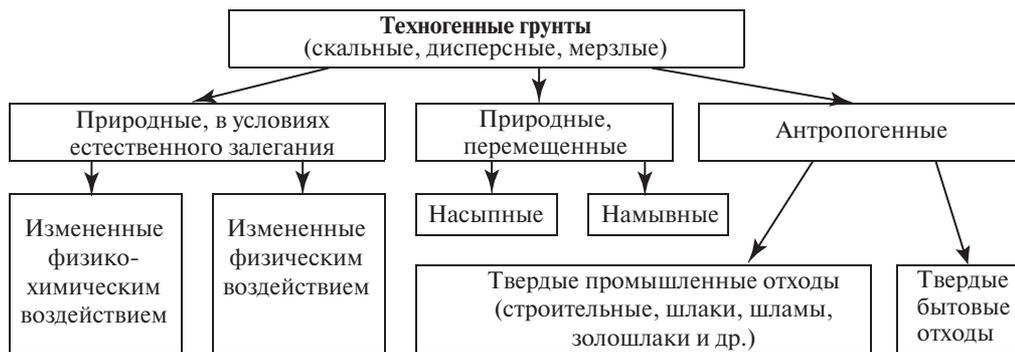


Рис. 1.1. Классификация техногенных грунтов [16; 17 с изменениями]

**Природные грунты, измененные в условиях естественного залегания.** Техногенные грунты, созданные преобразованием природных грунтов в условиях их естественного залегания, образуются в основном в результате целенаправленного изменения первоначальных свойств последних одним из методов технической мелиорации (табл. 1.7) и представляют собой улучшенные скальные, дисперсные либо криогенные грунты. Свойства этих грунтов формируются под влиянием следующих четырех групп факторов.

Первая группа – *состав, строение и свойства преобразуемых природных грунтов*, которые определяют саму целесообразность и возможность применения того или иного способа их улучшения. Так, в зависимости от дисперсности, пористости и степени влажности может использоваться порядка десяти разных способов уплотнения только связных грунтов; наиболее рациональный способ снижения водопроницаемости трещиноватых скальных грунтов определяется их исходным коэффициентом фильтрации, размерами трещин и наличием заполнителя того или иного состава и т.д.

Вторая группа – *технологическая*. Она является определяющей, устанавливается типом воздействия на грунты и его параметрами. Например, просадочность лессовых грунтов может быть устранена обжигом, замачиванием, силикатизацией, гидровиброуплотнением или армированием грунтовыми сваями. Бесспорно, физические и физико-механические свойства новообразованного грунта совершенно разные в зависимости от выбранного метода. При инъекционном закреплении грунтов определяющее значение имеют выбор вида инъецируемого вещества, его рецептура, давление нагнетания и др.

Таблица 1.7. Общая классификация методов

Классы		Группы	
характеристика	область применения	название	направленность искусственного изменения грунтов
Закрепление грунтов на месте их естественного (или искусственного) залегания	Усиление оснований сооружений Увеличение устойчивости склонов, откосов и подземных выработок Создание противодиффузионных завес Уменьшение водопиток к горным выработкам	Обезвоживание	Уменьшение водообильности Повышение плотности и устойчивости
		Уплотнение	Повышение плотности и устойчивости Уменьшение водопроницаемости
		Упрочнение	Увеличение прочности Уменьшение сжимаемости и водопроницаемости
Создание грунтовых материалов	Устройство оснований дорожных и аэродромных покрытий; свайных оснований; противодиффузионных экранов и стенок (ограждений)	Уплотнение	Увеличение плотности и внутреннего трения
			Снижение деформируемости
		Химическая модификация	Изменение уплотняемости, водопроницаемости Увеличение водостойкости
		Упрочнение	Увеличение прочности, водо- и морозостойкости

искусственного улучшения грунтов [18; 19]

Типы	Виды (применительно к различным видам грунтов)				
	скальные и полускальные	грубообломочные	песчаные	лессовые	глинистые
Гравитационное дренирование	Гравитационный дренаж, водопонижение		Водопонижение, вакуумирование		Песчаные дрены
Физико-химическое дренирование	—		—	Электродренаж, химические сваи	
Механическое уплотнение	—		Гидровиброуплотнение	Замачивание	—
Инъекционное уплотнение	Уплотнение трамбованием и взрывами, глинизация и кольматация, тампонирующее инъекционными растворами				
Инъекционное упрочнение	Закрепление суспензионными и эмульсионными растворами, закрепление химическими растворами				
Упрочнение физическими полями	—				
Механическое уплотнение	—	Уплотнение трамбованием и укаткой			
Регулирование гранулометрического состава	—	Введение заполнителей (пылеватые и глинистые фракции)		Введение скелетных добавок (гравийные и песчаные фракции)	
Обработка грунтов химическими веществами при определенной влажности	—	—		Агрегация и диспергация: портландцементом, известью, солями Гидрофобизация ПАВ	
Обработка грунтов химическими веществами в смесях с консистенцией вязкого раствора	—	—		Приготовление цементноглинистых, битумноглинистых, силикатглинистых и полимерглинистых смесей	
Совмещение грунтов с органическими вяжущими	—	Укрепление битумом, синтетическими и природными смолами			
	—	Укрепление известью, портландцементом, силикатом натрия			

---

Особо следует отметить методы армирования грунтов, без которых практически немыслимы современные технологии и принципы подготовки оснований инженерных сооружений. В то же время в приведенной классификации методов технической мелиорации грунтов они отсутствуют, так как представляют собой методы создания массива техногенных грунтов с новыми свойствами, который в этом случае включает каркасообразующие элементы без существенного изменения свойств самих вмещающих грунтов.

Под *массивом техногенно преобразованных природных грунтов* понимают объем грунтов, в пределах которого в условиях их естественного залегания произошло целенаправленное или случайное изменение их состава, состояния и свойств, существенное для инженерно-хозяйственной деятельности человека [17].

Таким образом, границей данного массива является воображаемая поверхность произвольной конфигурации, вне которой показатели состояния, состава и свойств находятся в пределах их вариации для неизменных грунтов.

Для создания массивов армированных скальных и полускальных грунтов применяются гвоздевание и анкерное крепление. Для дисперсных грунтов методы более разнообразны и включают инъекционное армирование, установку геомембран, буронабивных, буроинъекционных и балластных свай [18].

Третья группа факторов — *пространственное положение массива техногенно измененных грунтов* — оказывает влияние на формирование их свойств посредством природно-климатических и инженерно-геологических факторов, но уже после возникновения такого массива, определяя лишь постепенное изменение приобретенных свойств (например, деградация цементного камня). Несомненно, роль этих факторов в формировании свойств техногенно преобразованных грунтов невелика, и наибольшее значение они имеют для криогенных грунтов.

Четвертую группу факторов составляет *возраст техногенных грунтов*. Его влияние может проявляться в форме повышения несущей способности техногенно преобразованных грунтов в результате, например, нарастания прочности цемента во времени либо ухудшения показателей их физико-механических свойств по мере изменений новообразованных структурных связей.

Формирование свойств ухудшенных техногенно измененных грунтов (искусственно разуплотненных, увлажненных, выветрелых и др.) в целом подчиняется тем же закономерностям. Однако пространственное положение и возраст имеют для них большее значение, так как при создании массивов таких грунтов их дальнейшие постгенетические изменения обычно не принимаются во внимание. Так, побочным результатом ведения земляных работ взрывным способом может стать возникновение сильно трещиноватого массива. Его размеры и степень трещиноватости определяются прочностью

---

исходного грунта и мощностью взрывной волны. В дальнейшем резкое увеличение водопроницаемости массива может привести к изменению состава пород под влиянием агентов выветривания, а также к прогрессирующему ухудшению ряда свойств грунтов.

Ухудшение свойств грунтов может произойти также в результате разгрузки напряжений в талых или изменения температурного режима в мерзлых грунтах на дне котлована или глубокой выемки.

**Природные грунты, перемещенные с мест естественного залегания в процессе строительной или иной производственной деятельности.** Формирование свойств техногенных грунтов, созданных перемещением природных грунтов в процессе строительной и другой производственной деятельности, в целом определяется теми же четырьмя группами факторов.

Важнейшее значение для формирования свойств и насыпных, и намывных грунтов имеет *дисперсность* природных перемещаемых грунтов – она определяет саму технологию ведения работ. Так, гидронамывом укладываются только песчаные грунты; укладка связных грунтов в полезную насыпь проводится при определенной, оптимальной для данного грунта влажности, а для грубообломочного материала она, напротив, не имеет большого значения.

Однако при одном и том же составе такие важнейшие свойства искусственного грунта, как плотность и прочность, определяются исключительно *технологией* ведения работ. Эти показатели при прочих равных условиях всегда выше у намывных песков, а для насыпных образований наилучшие результаты дает послойная укладка с укаткой.

*Пространственное положение* массива намывных или насыпных грунтов не оказывает существенного влияния на их свойства, но может сказаться на темпах их последующего преобразования.

*Фактор времени*, напротив, имеет гораздо большее значение для этих техногенных грунтов: с возрастом массива происходит не только уплотнение грунтов, но и их «старение», обусловленное постепенным формированием коагуляционных и слабых конденсационных структурных связей, а также их упрочнением [17]. Показательным примером является возникновение сцепления упрочнения в намывных песках, вызванное образованием слабого цемента из геля аморфного кремнезема и соединений железа и их последующей дегидратацией.

Для армирования массивов техногенно перемещенных грунтов используют методы, основанные на распределении армирующих элементов в грунтовой массе с использованием геотекстиля и геосинтетиков [18]. Такое армирование сопровождается и уплотнением техногенных грунтов.

**Антропогенные образования.** Техногенные грунты, созданные как отходы хозяйственной деятельности человека, чрезвычайно разнообразны. Среди них можно выделить:

- 
- насыпные промышленные и бытовые отходы (отвалы вскрышных пород, шлаков и золошлаков, свалки);
  - намывные промышленные отходы (гидроотвалы, шламы);
  - грунты культурного слоя.

Для формирования свойств этих грунтов наибольшее значение имеют исходный состав материала (часто весьма разнородный) и возраст массива. Отличительная особенность данных техногенно образованных грунтов заключается в значительном преобразовании их химико-минерального состава в *физическом* времени, что влечет за собой существенное изменение свойств массива. Поэтому возраст таких грунтов имеет определяющее влияние на их свойства, а общей тенденцией можно считать повышение несущей способности массивов антропогенных грунтов во времени [16].

Интенсивное преобразование состава этих грунтов обусловлено низкой устойчивостью их компонентов в новых термодинамических условиях — ведь многие из них не имеют аналогов в природе и подвергаются быстрому химическому разложению. В наименьшей степени этому процессу подвержены грунты отвалов вскрышных пород, но и в них могут присутствовать неустойчивые в зоне выветривания минералы. На скорость преобразования состава антропогенных грунтов в значительной степени влияет пространственное положение массива, в основном через его водно-тепловой режим, и, конечно, технология создания массива.

Для формирования свойств грунтов культурного слоя определяющее значение имеет характер использования территории за весь период существования в данном месте поселения человека (этот период и следует рассматривать как возраст грунтов культурного слоя в целом), в ходе военных действий, с которыми связано устройство фортификационных сооружений и перемещение значительных объемов грунта. Пожары, наводнения и другие стихийные бедствия, как правило, сопровождаются резким увеличением объемов формирования культурного слоя [17].

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что понимают под техногенными грунтами?
2. В чем отличие понятий «техногенный грунт» и «искусственный грунт»?
3. Что такое «антропогенные образования»?
4. Какие признаки лежат в основе частных классификаций техногенных грунтов Ю.М. Абелева, В.И. Крутова 1962 г. [3] и Ю.М. Лычко 1982 г. [4]?
5. Чем обусловлено появление различных региональных классификаций техногенных грунтов?
6. Какие признаки положены в основу общих классификаций антропогенных отложений Ф.В. Котлова 1978 г. [12] и искусственных грунтов М.И. Хазанова 1975 г. [13]?

- 
7. В чем заключаются преимущества общей классификации техногенных грунтов А.П. Афонина и др. 1990 г. [14] в отличие от классификаций Ф.В. Котлова и М.И. Хазанова?
  8. В чем отличие общей классификации техногенных грунтов Е.Н. Огородниковой и С.К. Николаевой 2017 г. [15] от классификации А.П. Афонина и др.?
  9. На предмет техногенных грунтов проанализируйте классификации, отраженные в СТБ 943-2007, ГОСТ 25100-2011 и классическом учебнике «Грунтоведение» 2005 г. [16], укажите их сходства и отличия.
  10. Что представляют собой и в результате чего образуются техногенные грунты, созданные преобразованием природных грунтов в условиях их естественного залегания?
  11. Что такое ухудшенные техногенно измененные грунты и как они образуются?
  12. Под влиянием каких групп факторов формируются свойства техногенных грунтов, созданных преобразованием природных грунтов в условиях их естественного залегания?
  13. Что понимают под массивом техногенно преобразованных природных грунтов?
  14. Какими факторами определяется формирование свойств техногенных грунтов, созданных перемещением природных грунтов в процессе строительной и другой производственной деятельности?
  15. Что подразумевается под техногенными грунтами, созданными как отходы хозяйственной деятельности человека, какие факторы имеют наибольшее значение при формировании их свойств?

---

**Характеристика техногенных грунтов,  
созданных преобразованием природных грунтов  
в условиях их естественного залегания**

---

Как было отмечено в главе 1, эта подгруппа техногенных грунтов формируется целенаправленно путем преобразования состояния и свойств природных грунтов различными методами воздействий. Причем эти преобразования носят двойственный характер. В одном случае они направлены на улучшение состояния и свойств грунтов, в другом – ведут к ухудшению характеристик грунтов.

**2.1. Улучшенные грунты**

Улучшенные грунты создаются в целях повышения их прочности и несущей способности, а в отдельных случаях также и для изменения водопроницаемости. Спектр методов изменения свойств грунтов в их природном залегании довольно разнообразен. Различают методы для скальных, дисперсных и криогенных грунтов.

**2.1.1. Скальные грунты**

Улучшенные скальные техногенные грунты образуются путем преобразования трещиноватых или закарстованных грунтов методами технической мелиорации для обеспечения устойчивости сооружений, проходки и эксплуатации горных выработок, а также для локализации промышленных отходов и производственных стоков. Повышение несущей способности и снижение проницаемости природных скальных грунтов достигаются за счет заполнения их трещин и пустот различными вяжущими веществами и образования по существу нового композитного материала, матрицей которого служит пространственная сетка, образованная затвердевшим вяжущим в сложноветвящейся системе трещин и пустот. Внесение вяжущего, как правило, производится *инъекционным способом* – нагнетанием через систему скважин или шпуров. Однако возможно и поверхностное закрепление грунта, примером которого является *метод торкретирования*, заключающийся в нанесении под давлением сжатого воздуха на скальные поверхности цементно-песчаных

растворов или бетонной смеси, способных проникать даже в тонкие трещины (рис. 2.1, 2.2). Данный метод широко применяется в тоннелестроении. Кроме того, инъекционное закрепление может проводиться и в комбинации с армированием трещиноватых пород с помощью системы анкеров, что позволяет существенно снизить горное давление в подземной выработке и затраты на устройство массивной обделки [16].

Свойства улучшенного скального грунта определяются главным образом видом вяжущего и технологией ведения работ. В зависимости от целей проводимой обработки (снижение водопроницаемости, или повышение несущей способности грунтов, или то и другое вместе), а также состава и

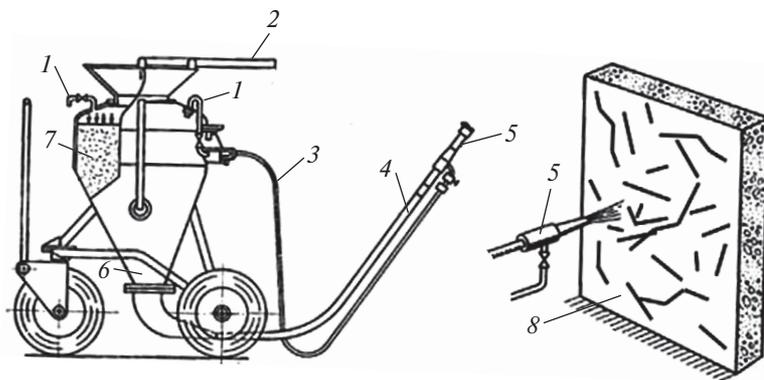


Рис. 2.1. Схема торкретной установки:

1 – патрубки для сжатого воздуха; 2 – рукоятка затвора; 3 – рукав для воздуха; 4 – рукав для подачи материалов; 5 – насадка; 6 – корпус нагнетателя; 7 – готовая бетонная смесь; 8 – поверхность трещиноватого массива



Рис. 2.2. Самоходная торкрет-установка Sika-PM 407 в тоннеле (<http://aliva.pro>, 2014)

строения массива для его закрепления могут использоваться цементные и глинистые растворы, битумные расплавы или низкотемпературные битумные эмульсии, комплексные растворы на основе жидкого стекла и синтетических смол. Наиболее высокие физико-механические показатели техногенных скальных грунтов достигаются при инъекции цементных растворов, меньшее упрочнение происходит при использовании жидкого стекла и цементно-глинистых растворов. Глинизация и горячая битумизация не дают существенного повышения прочностных и деформационных характеристик, но эффективно снижают водопроницаемость трещиноватых и кавернозных пород даже в условиях агрессивных по отношению к другим вяжущим подземных вод [17].

В гидротехническом строительстве цементация используется для придания массивам грунтов с повышенной трещиноватостью монолитности и (или) создания противодиффузионных завес. В первом случае мощность улучшенных скальных грунтов может изменяться от 0,7–1,5 до 12–14 м в зависимости от мощности зоны выветривания или зоны тектонического дробления. Противодиффузионные завесы устраиваются в целях обеспечения устойчивости плотины на сдвиг, отвода вод фильтрационного потока и уменьшения противодействия воды на подошву плотины, поэтому ее глубина и мощность определяются исходя из проектного решения и специфики инженерно-геологических условий участка строительства (рис. 2.3).

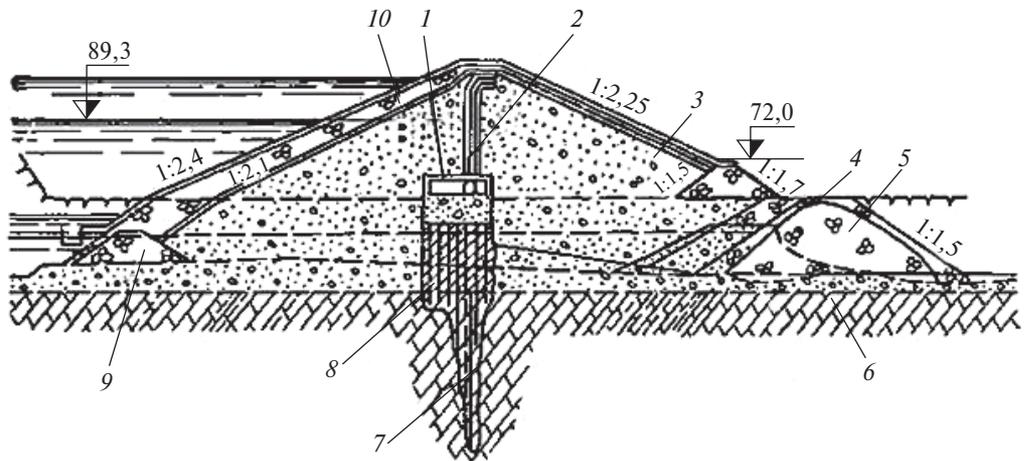


Рис. 2.3. Атбашинская плотина в Киргизии высотой 75 м (<http://hydrotechnics.ru>, 2007): 1 – бетонная пробка (плитка); 2 – диафрагма из полиэтиленовой пленки между двумя слоями песка; 3 – галечниковый грунт; 4 – переходные зоны с обратным фильтром; 5 – банкет перекрытия реки; 6 – известняки; 7 – цементационная завеса в известняках; 8 – противодиффузионная завеса в галечниковом грунте; 9 – упорная призма из каменной наброски; 10 – защитный слой наброски из крупного камня

---

Завесы устраиваются путем нагнетания под давлением от 0,3 до 7 МПа в скважины диаметром 50–150 мм, располагающиеся в шахматном порядке в 2, иногда в 3 ряда и более, цементного или цементно-глинистого раствора различной консистенции в зависимости от размеров трещин в скальных породах. Глубина противofильтрационной завесы – обычно от 3–10 до 50 м (Братская ГЭС на р. Ангара и др.), но в отдельных случаях она достигает 100 м и более (Санта-Джустина, Италия; Гранд-Дискенс, Швейцария).

Цементации хорошо поддаются трещиноватые скальные и полускальные грунты с шириной раскрытия трещин более 0,01 мм. При этом чем больше ширина раскрытия трещин грунта, тем легче достигается проектный уровень плотности цементационной завесы. Как показали многочисленные исследования керна зацементированных грунтов, доля цемента в них приблизительно соответствует начальной трещинной пустотности. Например, для залегающих в основании Гомушской плотины среднетрещиноватых андезитобазальтов она достигала 2–3% [20].

Критерием удачной цементации массива является удельное водопоглощение омоноличенного грунта на уровне 0,01–0,02 л/мин (в зоне сопрягающей цементации) и 0,03–0,05 л/мин (в зоне бортовых примыканий плотины). Если не удастся достичь требуемой плотности противofильтрационной завесы, то проводится ее последующее доуплотнение. В соответствии с назначением завесы контроль за свойствами улучшенных скальных грунтов ведется путем контроля значений удельного водопоглощения (плотности завесы). При этом физические свойства, а также прочностные и деформационные характеристики грунтов не учитываются. В случае укрепительной цементации прочностные показатели улучшенного грунта принимаются на уровне естественного массива.

### **2.1.2. Дисперсные грунты**

По механизму преобразования состава и свойств все улучшенные дисперсные грунты принято разделять на три группы [16].

1. Физически измененные грунты – модифицированные механическим воздействием и наложением физических полей (электромагнитного, температурного), включающие следующие разновидности грунтов: уплотненные, термически упрочненные, осушенные, с оптимизированным гранулометрическим составом (в том числе закольматированные).

2. Физико-химически измененные – грунты, закрепленные внесением вяжущих и специальных добавок (коагулирующих, диспергирующих), а также веществ, вступающих в химические реакции с жидкой и твердой компонентами грунта, в результате чего формируются новые кристаллизационные и конденсационные структурные связи. Эта группа включает грунты, полученные способами инъекционного закрепления – цементацией,

глинизацией, силикатизацией, аммонизацией, смолизацией, битумизацией и другими способами, а также электролитически закрепленные дисперсные грунты. Эффект упрочнения и изменения водопроницаемости достигается за счет образования дополнительных структурных связей между вяжущим и частицами грунта, заполнения пор вяжущим, изменения микроагрегатного состава грунта и формирования новых структурных связей в результате физико-химических процессов. По своим инженерно-геологическим характеристикам некоторые улучшенные дисперсные грунты могут соответствовать полускальным.

3. Армированные грунты: в условиях естественного залегания свойства основной массы дисперсных грунтов изменяются незначительно, но конструктивно создается массив техногенных грунтов с улучшенными свойствами.

**Несвязные грунты, улучшенные физическими методами.** Среди улучшенных несвязных грунтов, измененных методами первой группы, широко распространены *уплотненные разности*. Они формируются в результате применения механических методов поверхностного или глубинного уплотнения (укаткой, трамбованием, вибрацией, виброударами и др.), а также водопонижением или оптимизацией гранулометрического состава грунтов путем внесения в них дисперсных добавок. При этом эффективность уплотнения несвязных грунтов определяется дисперсностью, плотностью сложения, влажностью и величиной угла внутреннего трения грунта, а также методом и интенсивностью воздействия. Так, наибольший эффект уплотнения укаткой достигается в крупнообломочных грунтах, в то время как в песчаных грунтах этого эффекта можно достичь лишь при наличии в основании оптимальной влажности (рис. 2.4); мелкие и пылеватые пески хорошо уплотняются вибрацией поверхностными вибраторами.

Эффективным методом уплотнения крупнообломочных и песчаных грунтов является *трамбовка*, осуществляемая с помощью копров или подъемных кранов. В последнем случае используют железобетонные или металлические плиты весом 1–2 т, которые поднимают на высоту 1–2 м и более и сбрасывают вниз. При этом грунт уплотняется на глубину до 1 м.

Для уплотнения грунтов на большую глубину используют *тяжелые трамбовки* массой от 2 до 10 т и более, подъем и сбрасывание которых производят с высоты 5–10 м (рис. 2.5). В результате создается слой уплотненного грунта мощностью 1,5–6 м (табл. 2.1).

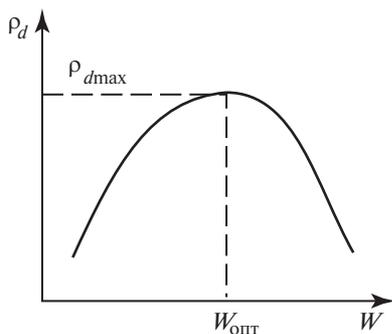


Рис. 2.4. График зависимости плотности  $\rho_d$  скелета грунта от влажности  $W$  при стандартном уплотнении

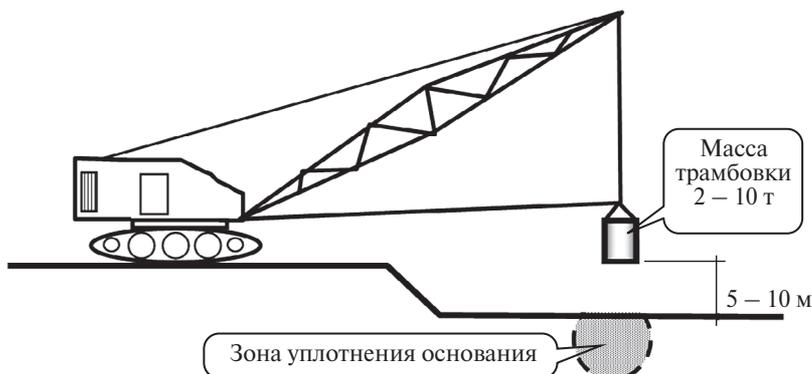


Рис. 2.5. Схема поверхностного уплотнения грунта тяжелыми трамбовками

Таблица 2.1. Толщина уплотняемого слоя дисперсных грунтов при работе различных уплотняющих машин и снарядов [21]

Уплотняющие машины и снаряды	Мощность уплотняемого слоя, м
Пневматические трамбовки (копры)	0,1–0,2
Катки: гладкие	0,1–0,25
кулачковые	0,2–0,35
Виброкатки	0,4–1,2
Катки с падающим грузом массой 0,8–1,7 т	1,0–1,5
Виброплиты	0,2–0,6
Тяжелые трамбовки массой, т:	
2–3	1,5–2,0
4,5–5	2,5–3,0
10	5,5–6,0

Уплотнение производится до определенной степени плотности, выражаемой коэффициентом уплотнения – отношением заданного значения плотности скелета грунта к его максимальному значению:

$$K_{\text{com}} = \rho_{d\text{com}} / \rho_{d\text{max}}$$

Этот коэффициент обычно принимают в пределах 0,92–0,98.

Наибольшая глубина уплотнения  $h_{\text{com}}$  достигается при оптимальной влажности грунта и приближенно оценивается по соотношению

$$h_{\text{com}} = d_0 K_{\text{com}},$$

где  $d_0$  – диаметр рабочей поверхности трамбовки, м;  $K_{\text{com}}$  – коэффициент уплотнения, принимаемый для песчаных грунтов 1,55.

Эффективность уплотнения определяется выполнением важного условия: плотность скелета грунта на нижней границе уплотненного слоя должна быть не менее  $1,6 \text{ г/см}^3$ , а коэффициент пористости — не более  $0,7$  для песков гравелистых, крупных и средней крупности,  $0,75$  — для мелких и  $0,8$  — для пылеватых разностей [21].

Эффект уплотнения песчаных грунтов достигается при использовании метода *глубинного виброуплотнения*. Его применяют в рыхлых песках естественного залегания, а также при укладке несвязных грунтов в насыпи, устройстве обратных засыпок.

При вибрации песчаные грунты, у которых отсутствует сцепление между частицами, приходят в движение и под действием инерционных сил вибрации и сил тяжести происходит смещение частиц. В результате рыхлые пески уплотняются. Эффективность уплотнения повышается при подаче в зону уплотнения воды. Поэтому, если песок находится в ненасыщенном водой состоянии, к месту виброуплотнения подают воду. Такой метод часто называют *гидровиброуплотнением* (рис. 2.6). Посредством виброуплотнения плотность скелета песчаного грунта может быть доведена до  $1,7$ – $1,8 \text{ г/см}^3$ .

Существует два основных способа виброуплотнения. При первом способе уплотнение достигается погружением в песок вибратора (вибробулавы). Этим способом уплотняются толщи рыхлых песков мощностью до  $8$ – $10 \text{ м}$ . При втором способе в грунт погружается стержень с прикрепленным к его голове вибратором. Расстояние между точками погружения обычно составляет  $2$ – $3 \text{ м}$  и уточняется опытным путем. Общая высота уплотняемой толщи может достигать  $20 \text{ м}$ . Полный цикл уплотнения песчаной толщи в одной точке состоит из  $4$ – $5$  чередующихся погружений и подъемов виброустановки. Производительность указанных виброустановок составляет  $170$ – $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Для гидровиброуплотнения применяют также гидровибрационную установку, обеспечивающую одновременную подачу воды в грунт и его уплотнение вибрацией. Гидровиброустановку размещают в вертикальном положении над местом погружения, включают вибратор, и одновременно через нижние сопла под давлением  $4$ – $6 \text{ МПа}$  подается вода. Вибратор погружается под действием собственного веса со скоростью  $1,5$ – $3 \text{ см/с}$ . После погружения установки на заданную глубину через верхние сопла подают воду, поднимая установку.

При вибрации степень плотности приближается к единице, происходит уменьшение пористости,

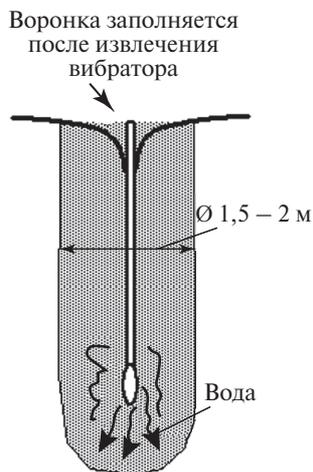


Рис. 2.6. Схема глубинного гидровиброуплотнения песчаных грунтов

увеличение внутреннего трения и их устойчивости к воздействию нагрузок. На эффективность уплотнения грунтов вибрированием существенно влияет влажность: лучшие результаты достигаются при влажности, равной 1,1–1,2 оптимального значения.

Широкое применение в строительной практике (в гидротехническом строительстве, при возведении подземных сооружений и др.) нашло **водопонижение** в водонасыщенных грунтах. Для водопонижения применяют легкие иглофильтровые установки, эжекторные установки, эжекторные иглофильтры, вакуумные установки и водопонижающие скважины, оборудованные глубинными насосами (рис. 2.7).

Применяемые способы водопонижения исключают нарушение природных свойств грунтов в основании возводимых сооружений, обеспечивают устойчивость откосов выработки и сохранность наземных и подземных сооружений. При выборе способа водопонижения учитывают свойства и условия

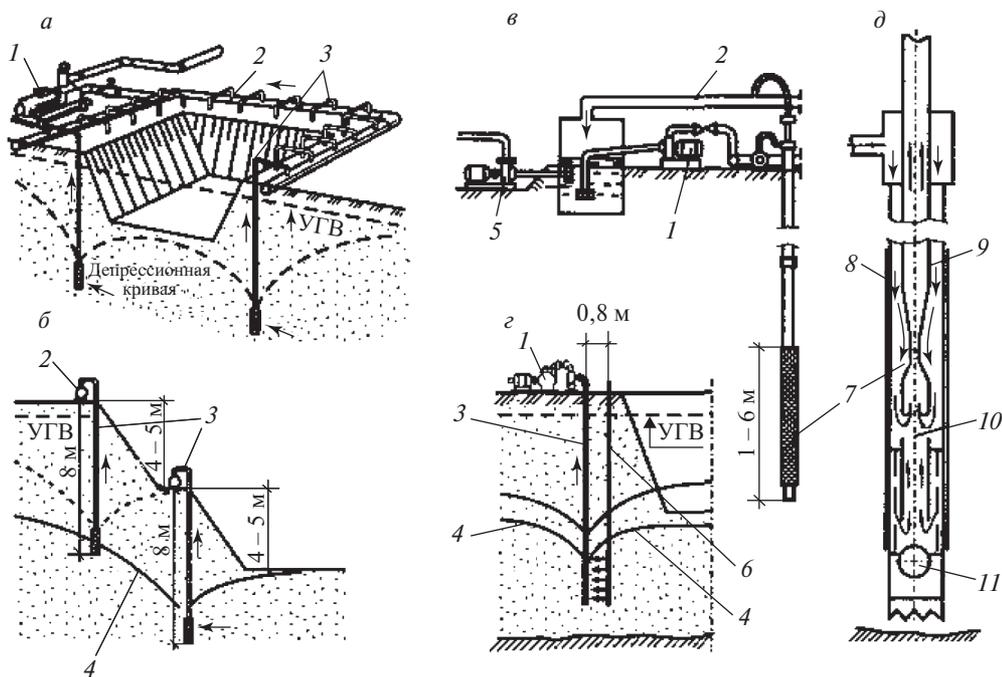


Рис. 2.7. Схемы иглофильтровых установок (<http://helpiks.org>, 2014):

*a* – котлован с легкими иглофильтрами в один ярус; *б* – то же, в два яруса; *в*, *д* – эжекторная иглофильтровая установка и фильтровое звено; *з* – схема электроосушения; 1 – рабочий насос; 2 – водоотводный коллектор; 3 – иглофильтр; 4 – уровень грунтовых вод после осушения; 5 – низконапорный насос; 6 – стальной стержень (анод); 7 – фильтровое звено; 8 – труба наружная; 9 – труба внутренняя с эжекторным устройством; 10 – вакуум; 11 – клапан шаровой; УГВ – уровень грунтовых вод

залегания грунтов, их водопроницаемость и водоотдачу [17]. Так, эжекторными установками обеспечивается водопонижение в мелко- и тонкозернистых песках с включением глинистых частиц, характеризующихся низким коэффициентом фильтрации – от 0,6 до 1–2 м/сут.

Способ водопонижения с помощью иглофильтров применяется в однородных грунтах с коэффициентом фильтрации от 1 до 50 м/сут. Использование легких иглофильтровых установок (ЛИУ) позволяет снизить уровень грунтовых вод одной ступенью на 4–5 м при длине рабочего органа иглофильтра до 8 м [22]. Применением установок ЛИУ-5, расположенных в один, два и три яруса, осуществляется водопонижение на отдельных участках длиной 150–200 м. После проведения работ уровень грунтовых вод снижается на 4–6,5 м ниже статического.

Водопонижающие скважины, оборудованные глубинными насосами, применяют при необходимости водопонижения с поверхности на значительную глубину (от 5 до 20 м) в грунтах с коэффициентом фильтрации более 50 м/сут. При водопонижении на глубинах более 20 м используют водопонижающие скважины большого диаметра, в которые опускают специальные погружные глубинные насосы, работающие под водой. Этот способ обеспечивает значительное понижение уровня грунтовых вод, когда другие установки неэффективны, а также в условиях тесной городской застройки и наличия подземных коммуникаций. Применение водопонижающих скважин

позволяет снизить уровень грунтовых вод на 7,5–8,5 м [22].

**Термическое упрочнение** несвязных грунтов осуществляется путем электроплавления пылунов песков. Этот метод применяют главным образом при упрочнении пылунов в процессе проходки шахт и других горных выработок. По контуру предполагаемой выработки в пересекаемых ею пылунах толщиной  $H$  устанавливают электронагреватели (рис. 2.8) длиной  $l = H + 0,5$ , где 0,5 – заглубление электронагревателей в подстилающий прочный грунт, м.

При прохождении электрического тока через нагреватель последний быстро нагревается (в течение 8–10 мин) до температуры 1800–2500 °С и расплавляет окружающий его грунт. Цилиндры из расплавленного грунта вокруг каждого нагревателя смыкаются, образуя после его остывания монолитную тонкую (20–50 см) оболочку. В результате при спека-

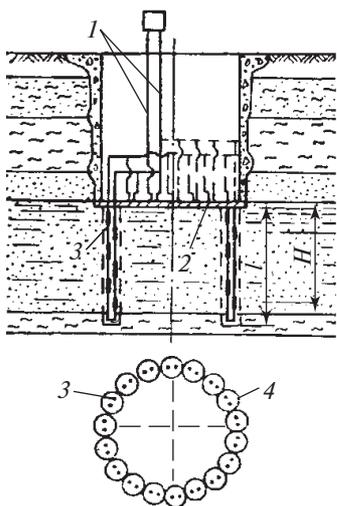


Рис. 2.8. Схема электроплавления пылунов песков [23]:  
1 – электросеть; 2 – настил; 3 – П-образные электронагреватели; 4 – расплавленный пылунон

---

нии формируются новые жесткие структурные связи, признаки несвязных грунтов утрачиваются. Прочность застывшего расплава может достигать 26–43 МПа.

**Проморозка** несвязных грунтов формируется при проходке плавунных песков. Сам способ искусственного промораживания довольно универсален. Он применим на различных глубинах, при различной степени водонасыщенности грунтов. С его помощью можно замораживать массивы грунта как ограниченной формы, так и на больших площадях. Сущность этого способа состоит в образовании из замороженного грунта временного ограждения — мерзлых стен кругового, прямоугольного или иного очертания посредством размещения в созданных в грунтовом массиве скважинах замораживающих колонок с циркулирующей по ним охлаждающей жидкостью (рис. 2.9).

Замороженные подобным образом грунты обычно обладают высокой прочностью (от 0,9 до 13 МПа) и водонепроницаемостью. Однако следует заметить, что такое закрепление грунта носит временный характер — до тех пор, пока хладонотеплоноситель воздействует на массив. Впоследствии грунты постепенно (в течение нескольких месяцев, иногда до года) оттаивают с восстановлением плавунных свойств [16].

**Несвязные грунты, улучшенные физико-химическими методами.** Среди несвязных грунтов, улучшенных методами второй группы, широко развиты *уплотненные и упрочненные разности*. Улучшению состояния и свойств грунтов способствуют различные вяжущие вещества. В зависимости от особенностей грунтов и конкретных проектных задач применяют цементацию, известкование, силикатизацию, смолизацию, глинизацию.

Для упрочнения грунтов широко используют суспензию портландцемента (**метод цементации**). Она эффективна для укрепления крупнообломочных, гравийных и гравийно-галечниковых отложений. Цементация грунтов осуществляется путем нагнетания под давлением до 0,2–0,4 МПа в грунтовой массив перфорированным иньектором различных суспензий портландцемента с добавками поверхностно-активных веществ (ПАВ) (рис. 2.10).

Дисперсность цемента ограничивает использование этого метода, укреплению могут подвергаться гравелистые и крупнозернистые пески с коэффициентом фильтрации не менее 50 м/сут. После цементации коэффициент фильтрации снижается в 50–500 раз вблизи иньектора и в 20–50 раз на периферии закрепленного массива. Добавки глин (обычно бентонитовых) повышают проникающую способность суспензии, поэтому глиноцементные рецептуры могут применяться для закрепления песков с коэффициентом фильтрации до 40 м/сут, однако конечная прочность закрепленного грунта при этом существенно падает. Радиус закрепления может достигать 0,7–1,5 м в зависимости от коэффициента фильтрации грунтов. При цементации песчаный грунт приобретает прочность от 1,5 до 6 МПа [16].

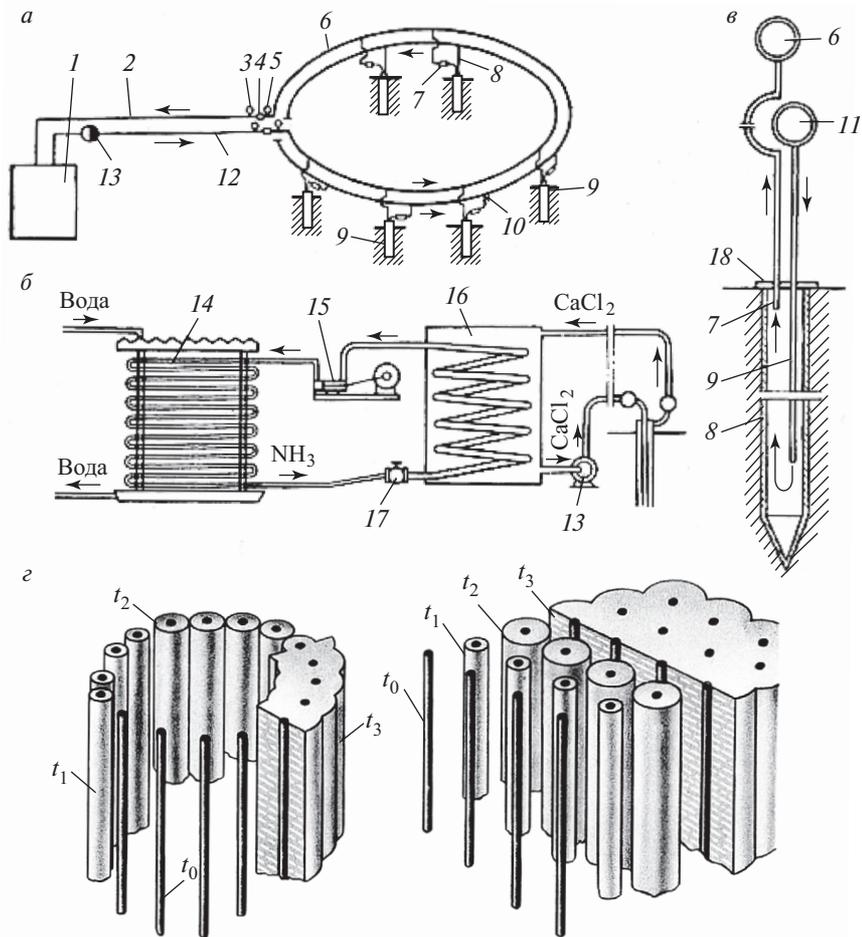


Рис. 2.9. Схемы установки для замораживания грунтов и формирования ледопородного ограждения во времени [24]:

*а* – схема циркуляции раствора; *б* – схема замораживающей станции; *в* – конструкция замораживающей колонки; *г* – схема формирования ледопородного ограждения; 1 – рассольный бак; 2 – обратный рассолопровод; 3 – термометр; 4 – водомер; 5 – манометр; 6 – коллекторное кольцо; 7 – отводящая труба; 8 – замораживающие колонки; 9 – питающая труба; 10 – кран; 11 – распределительный рассолопровод; 12 – прямой рассолопровод; 13 – насос; 14 – конденсатор; 15 – аммиачный компрессор; 16 – испаритель; 17 – регулирующий вентиль; 18 – головка замораживающей колонки

**Силикатизация** – метод, основанный на способности инъецированного в грунт раствора силиката натрия (жидкого стекла) превращаться в гель, который прочно связывает грунтовые частицы в одно целое. Первоначально гель связан с большим количеством воды, но постепенно он теряет воду, уплотня-

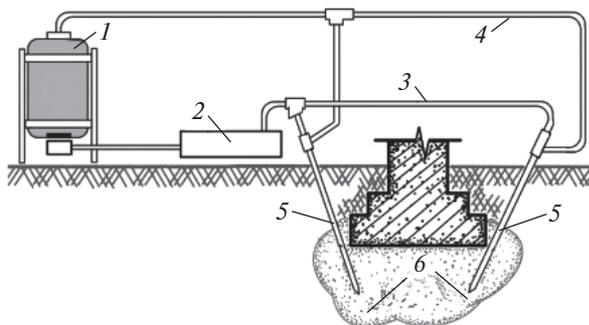


Рис. 2.10. Схема установки для цементации дисперсных грунтов (<http://www.fainaidea.com>, 2015): 1 – емкость для замешивания раствора; 2 – насос для раствора; 3 – напорный трубопровод; 4 – обратный трубопровод; 5 – иньекторы; 6 – укрепленный грунт

ется и цементирует частицы грунта в камневидную массу. В зависимости от вида закрепляемого грунта применяют двух- и однорастворный способ силикатизации.

Метод *двухрастворной силикатизации* заключается в поочередном нагнетании раствора кремниевой кислоты (жидкого стекла)  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$  и раствора хлористого кальция  $\text{CaCl}_2$  (рис. 2.11).

При разложении в грунте кремниевая кислота переходит в состояние геля и связывает отдельные минеральные частицы. Для ускорения данного химического процесса в грунт вводят катализатор – хлористый кальций. Метод применим для укрепления крупно- и среднезернистых песков с коэффициентом фильтрации 2–80 м/сут (табл. 2.2).

На эффективность закрепления влияет состав основного вяжущего – силиката натрия. Растворы на основе силиката натрия с модулем, равным 2,5–3, обеспечивают грунтам прочность до 3–3,5 МПа и более (табл. 2.3). Использование силиката натрия с модулем более 3 ведет к снижению прочности закрепленных грунтов (силикатный модуль – характеристика силикатов натрия и калия; выражается отношением грамм молекул  $\text{SiO}_2$  к числу грамм молекул  $\text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O})$ ). Эффективность силикатизации зависит от концентрации раствора силиката натрия, и с повышением его плотности прочность закрепленных грунтов увеличивается (табл. 2.3). Однако с повышением плотности раствора возрастает его вязкость, что приводит к некоторому снижению проницаемости и сокращению радиуса закрепления [17].

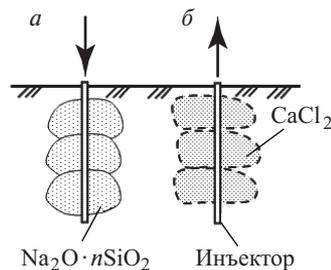


Рис. 2.11. Принципиальная схема двухрастворной силикатизации грунтового массива. Технологические операции: а – нагнетание жидкого стекла при погружении иньектора; б – нагнетание хлористого кальция при извлечении иньектора

Таблица 2.2. Характеристика силикатного закрепления песчаных грунтов [21]

Грунт	Способ закрепления	Коэффициент фильтрации, м/сут	Радиус закрепления грунта, м
Пески крупные и средние	Двухрастворная силикатизация	2–10	0,3–0,4
		10–20	0,4–0,6
		20–50	0,6–0,8
		50–80	0,8–1,0
Пески мелкие и пылеватые	Однорастворная силикатизация	0,3–0,5	0,3–0,4
		0,5–1,0	0,4–0,6
		1,0–2,0	0,6–0,8
		2,0–5,0	0,8–1,0

Таблица 2.3. Прочность закрепленных двухрастворной силикатизацией песчаных грунтов [21]

Грунт	Коэффициент фильтрации, м/сут	Плотность раствора жидкого стекла модуля 2,5–3 при 18 °С, т/м <sup>3</sup>	Предел прочности на сжатие через 28 сут, МПа
Песок средний	5–10	1,35–1,38	3,5–3,0
	10–20	1,38–1,41	3,0–2,0
Песок крупный	20–80	1,41–1,44	2,0–1,5

Эффективность закрепления повышается с увеличением дисперсности песчаных грунтов. Чем выше дисперсность песчаных грунтов и суммарная поверхность частиц, тем выше прочность закрепления (табл. 2.3). Присутствие в них глинистых частиц обеспечивает высокую прочность закрепления и в то же время способствует снижению проницаемости грунтов и уменьшению радиуса закрепления [16], а при большом их содержании и соответственно уменьшении фильтрационной способности исключается возможность применения метода в определенных условиях.

При всех преимуществах и ограничениях использования этого метода главными его недостатками являются высокая стоимость и большая трудоемкость работ. Поэтому метод двухрастворной силикатизации в основном применяют при усилении оснований под зданиями и сооружениями (например, закрепление грунтов под Кафедральным собором при строительстве линии метрополитена в Минске, рис. 2.12).

Для закрепления песчаных грунтов с меньшей фильтрационной способностью применяют *однорастворный способ силикатизации* (см. табл. 2.2), основанный на использовании раствора силиката натрия с отвердителями. Существуют инъекционные растворы, способствующие преимущественно упрочнению грунтов или снижению их фильтрационной способности (табл. 2.4).

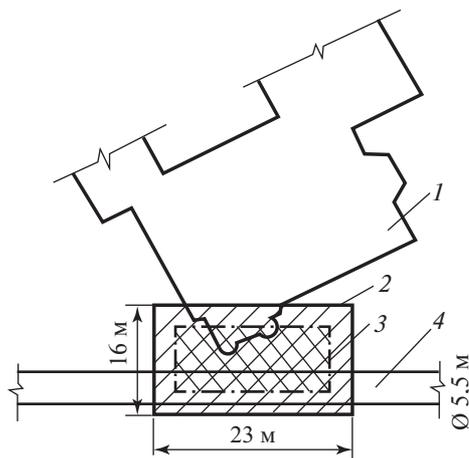


Рис. 2.12. План расположения закрепленного массива в зоне проходки тоннеля метрополитена под основанием Кафедрального собора в Минске [25]:  
 1 – Кафедральный собор; 2 – опытно-производственный участок; 3 – граница закрепленного массива; 4 – ось левого прогона тоннеля

Таблица 2.4. Составы однорастворной силикатизации песчаных грунтов [21]

Компонент	Плотность раствора при 18 °С	Объемное соотношение, ч.	Приготовление
Фосфорная кислота	1,025	3–4	В емкость наливают заданное количество фосфорной кислоты, затем при помешивании добавляют силикат натрия
Силикат натрия	1,19	1	
Серная кислота	1,06	1,3	В горячей воде растворяют сернокислый алюминий, остальную воду перемешивают с концентрированной серной кислотой. Тонкой струей вливают силикат натрия
Сернокислый алюминий	1,06	0,7	
Силикат натрия	1,19	1,5	

Пески, укрепленные алюмосиликатным раствором, не отличаются высокими прочностными характеристиками, но резко снижают водопроницаемость. Прочность укрепленных мелкозернистых песков (коэффициент фильтрации – 0,5–5 м/сут) составляет 0,15–0,35 МПа. При длительном хранении в воздушно-влажной и водной средах она увеличивается незначительно. Фильтрация воды возможна лишь при больших градиентах напора, при этом фильтрационная способность укрепленных песков зависит от их исходного коэффициента фильтрации [17].

Аналогичные результаты достигаются при укреплении песчаных грунтов раствором силиката натрия с добавками фосфорной кислоты или фосфорнокислого натрия. При этом прочность укрепленных грунтов в водонасыщен-

---

ном состоянии составляет 0,25–0,5 МПа, а водопроницаемость резко понижается.

Для улучшения свойств песчаных грунтов нередко используется **метод смолизации**, по технологии аналогичный силикатизации. Относится к числу дорогостоящих. Смолы, которые могут быть использованы для закрепления грунтов, должны обладать невысокой вязкостью и полимеризоваться в порах грунта при температуре от 4 до 10 °С. К таким смолам относятся карбамидные, фенольные, фурановые, акриловые, эпоксидные. В настоящее время закрепление грунтов этим способом чаще всего производят с помощью карбамидной смолы.

Смолизацию применяют для сухих и водонасыщенных песков с коэффициентом фильтрации 0,3–50 м/сут, она приводит к снижению водопроницаемости и повышению прочности на одноосное сжатие закрепленного грунта до 5–7 МПа. Радиус закрепленной области вокруг одного инъектора составляет 0,3–1 м. Повышение дисперсности песка способствует усилению образующихся связей в системе песок – смола при увеличении общей поверхности взаимодействия и мест нескомпенсированных зарядов на сколах зерен, однако с уменьшением исходной проницаемости грунта снижается радиус закрепления. Влияние минерального состава песков на их прочность после закрепления определяется разной смачиваемостью минералов смолой. Только кварцевые пески способны образовывать со смолой прочные водостойкие и морозостойкие соединения [16].

Для снижения водопроницаемости несвязных грунтов применяется **глинизация** (коэффициент фильтрации – 20–40 м/сут). Глинистые суспензии, используемые для тампонирования песков, должны обладать:

- высокой проникающей способностью;
- стабильностью и малой водоотдачей при распространении;
- суффозионной устойчивостью в порах затампонируемого грунта.

Наилучшими характеристиками обладают бентонитовые глины с выраженными тиксотропными свойствами. Для повышения устойчивости глинистых суспензий в них добавляют от 0,5 до 10% жидкого стекла, что позволяет силикатно-глинистым растворам выдерживать гидродинамические градиенты более 300 [17]. Для снижения водопроницаемости глинизация песков дает примерно такой же результат, как и цементация. Метод глинизации широко применялся на многих объектах Беларуси для решения разнообразных задач в строительстве, в частности для устранения активных водопроявлений по продольным и поперечным швам чугунной обделки левого перегонного тоннеля между станциями метро «Грушевка» и «Михалово» в Минске (рис. 2.13).

**Улучшение связных грунтов физическими методами.** Улучшенные физически измененные связные грунты также создаются разными способами.



Рис. 2.13. Нагнетание глинистого раствора шлангами, присоединенными к тубингам обделки перергонного тоннеля между станциями метро «Грушевка» и «Михалово» в Минске

Уплотнение проводят укаткой, трамбованием, подводными взрывами, вытрамбовыванием котлованов. Для уплотнения сильносжимаемых и заторфованных грунтов применяют уплотнение статическими нагрузками. Наиболее разнообразны применяемые способы для повышения плотности и ликвидации просадочности лессовых и лессовидных грунтов. Для них также применяют предварительное замачивание и гидровиброуплотнение.

Уплотнение грунтов *укаткой* обеспечивает повышение плотности, уменьшение фильтрационной способности. В глинистых грунтах, как и в песчаных, высокая степень уплотнения достигается при оптимальной влажности, которую ориентировочно можно принимать как  $W_0 = W_p + (1-3\%)$ , где  $W_p$  – влажность грунта на границе раскатывания. Максимальная степень плотности достигается на поверхности приложения уплотняющего воздействия, а по глубине и в стороны она снижается.

Для повышения плотности, несущей способности, уменьшения сжимаемости, а для лессов и лессовидных грунтов и устранения просадочности в строительной практике широко используется способ уплотнения грунтов *тяжелыми трамбовками*. Уплотнение возможно при коэффициенте водонасыщения грунта менее 0,7 и, как в предыдущем случае, эффективно при оптимальной влажности грунта [21]. Уплотнение осуществляется на глубину до нескольких метров (см. табл. 2.1). Способ широко используется при подготовке оснований под фундаменты, устройстве грунтовых подушек, возведении планировочных насыпей, земляных сооружений, при обратных засыпках котлованов [17].

При поверхностном уплотнении связных грунтов *трамбованием* степень уплотнения и плотность скелета грунта по глубине уменьшаются. При этом эффект уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками достигается при условии, когда плотность скелета грунта на нижней границе уплотненного слоя превышает значение у супесей  $1,65 \text{ г/см}^3$ , у суглинков и глин —  $1,55\text{--}1,75 \text{ г/см}^3$  в зависимости от показателя текучести, относительной плотности, числа пластичности. Эффективность же этого метода во многом зависит от особенностей состава грунта, количества ударов, веса и диаметра трамбовки, а также от ширины уплотняемой поверхности.

Для улучшения работы слабонесущих связных и просадочных грунтов в основании сооружений часто используется метод *устройства грунтовых подушек* (рис. 2.14). Для этого прибегают к замене слабого грунта непосредственно под подошвой фундамента малосжимаемым грунтом с относительно высоким сопротивлением сдвигу, улучшая тем самым работу грунта основания. Замена грунта осуществляется устройством под фундаментами подушек из песка, гравия, щебня и других грунтов. К грунтам, используемым в качестве подушек, предъявляются требования удобоукладываемости с заданной плотностью, относительно высокого сопротивления сдвигу и устойчивости скелета грунта при увлажнении и движении подземных вод. Применение подушки способствует выравниванию возможных неравномерностей осадок, а также уменьшению глубины заложения фундамента.

При устройстве фундаментов на просадочных и слабых глинистых грунтах применяют также способ *вытрамбовывания котлованов* (рис. 2.15). Вытрамбовывание производится уплотнением грунта путем сбрасывания в одно и то же место с высоты 4–8 м трамбовки весом 1,5–10 т. Чаще всего трамбовки

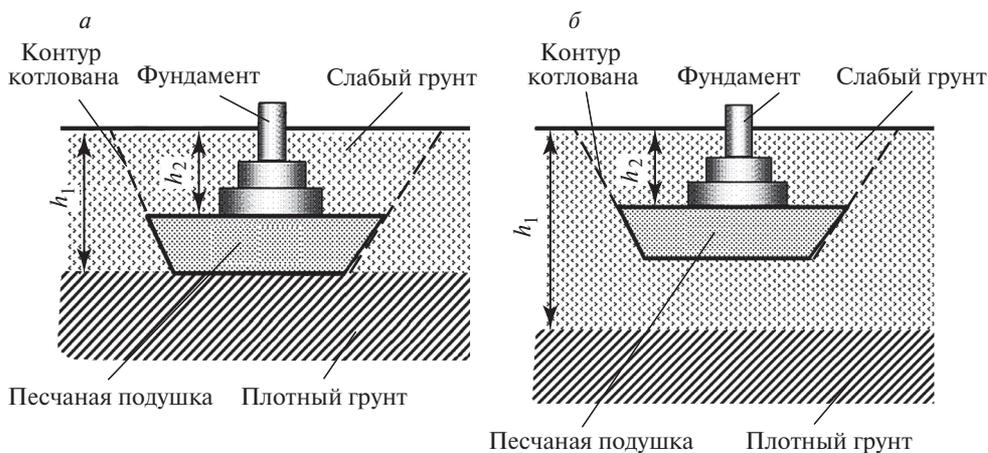


Рис. 2.14. Устройство песчаных подушек при малой (а) и большой (б) толще слабых грунтов

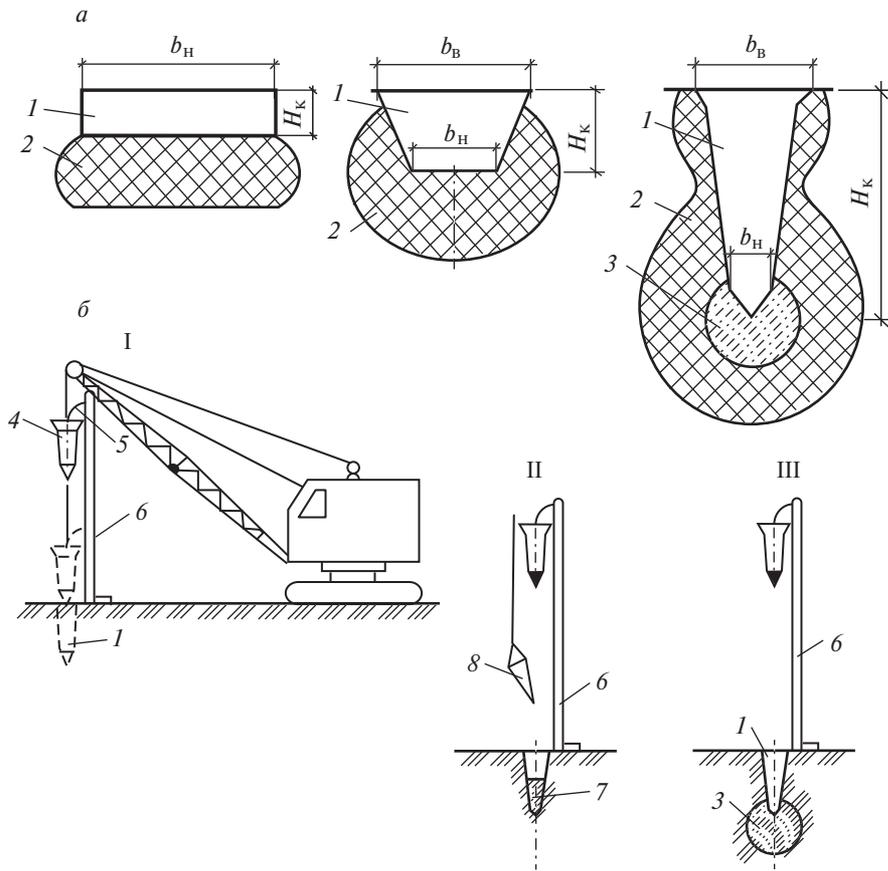


Рис. 2.15. Схемы устройства методом вытрамбовывания котлованов фундаментов (<https://studfiles.net>, 2015):

*a* – виды пространственной формы котлованов при использовании прямоугольного, призматического и конусного штампа; *б* – технологическая последовательность (I, II, III) устройства котлована с уширенным основанием; 1 – котлован; 2 – уплотненная зона; 3 – уширенное основание; 4 – трамбовка; 5 – каретка; 6 – направляющая штанга; 7 – малоуплотняемый материал; 8 – клин-молот

имеют форму усеченной пирамиды или более сложную конфигурацию. Так, при строительстве цехов производственного объединения «Коралл» в Гомеле были использованы фундаменты в вытрамбованных котлованах с вытрамбованными в нижней части коническими сваями [26].

Эффективность этого способа заключается в том, что в результате вытрамбовки под подошвой фундаментов и вокруг его боковых граней создается уплотненная зона повышенной прочности и несущей способности. Способ основан на втрамбовывании в дно котлована жесткого грунтового материала

(щебня, песчано-гравийной смеси, крупного песка и т.п.). Это обеспечивает грунтам основания высокую несущую способность и устранение просадочности лессовых грунтов с I типом грунтовых условий [27].

Как и в способе уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками, действенность вытрамбовывания котлованов зависит от энергии уплотнения, вида уплотняющего воздействия, физико-механических характеристик грунтов. Наиболее интенсивное уплотнение грунтов происходит при вытрамбовывании котлованов в маловлажных глинистых грунтах (коэффициент водонасыщения – менее 0,7) с невысокой природной степенью плотности. В водонасыщенных и переувлажненных глинистых грунтах (коэффициент водонасыщения – более 0,7) при вытрамбовывании котлованов возможно некоторое уплотнение грунта в результате отжатия свободной воды при динамическом воздействии [17].

Уплотнение просадочных лессовых грунтов производится *подводными и глубинными взрывами*. Сущность этого метода заключается в одновременном взрывании в водной среде зарядов взрывчатого вещества (ВВ), расположенных по определенной сетке на некотором расстоянии от уплотняемого основания (рис. 2.16). Слой воды ниже зарядов обеспечивает равномерную передачу ударного воздействия на грунт. Вода, перекрывающая заряды, служит для гашения энергии взрыва, направленной вверх.

Характер уплотнения грунтов в значительной мере определяется их коэффициентом водонасыщения. При водонасыщенном состоянии грунтов

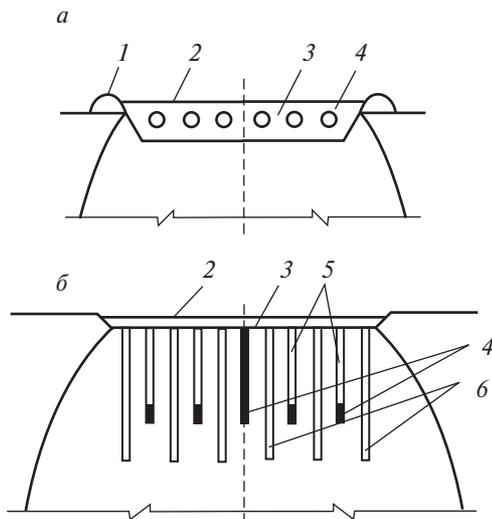


Рис. 2.16. Схемы уплотнения просадочных лессовых грунтов взрывами [28]:

а – подводными; б – глубинными; 1 – обвалование котлована; 2 – уровень воды; 3 – котлован; 4 – заряды ВВ; 5 – скважины для взрыва ВВ; 6 – дренажные скважины

---

большая часть энергии ударной волны воспринимается поровой водой. Степень уплотнения неводонасыщенных грунтов практически полностью определяется сжимаемостью скелета грунта.

Основными параметрами метода уплотнения грунтов подводными взрывами являются: размеры котлована в плане и его глубина; количество воды, необходимое для замачивания котлована на заданную глубину; глубина воды в котловане перед взрывом; схема размещения и вес зарядов.

На площадках I типа грунтовых условий (в которых возможна в основном просадка грунтов от внешней нагрузки, а просадка грунтов от собственного веса отсутствует или не превышает 5 см) уплотнение грунтов рекомендуется выполнять подводными взрывами. В этом случае заряды ВВ устанавливаются в воде по сетке через 0,6–1,2 м на расстоянии 0,3–0,4 м от дна котлована. После взрыва уплотняется верхняя часть сжимаемой толщи на глубину до 4 м.

На площадках со II типом грунтовых условий (в которых помимо просадки грунтов от внешней нагрузки возможна их просадка от собственного веса и размер ее превышает 5 см) заряды ВВ размещают в скважинах на глубине от 4 до 12 м. В этом случае происходит уплотнение грунта в нижней части основания. Верхний слой мощностью 2–6 м доуплотняют другими способами.

Связные грунты могут повышать свою прочность и несущую способность также при *уменьшении их влажности* или *осушении*. Осушенные связные грунты получают либо методом вакуумного водопонижения, либо электроосмотическим осушением.

*Метод вакуумного водопонижения* применяют для грунтов с коэффициентом фильтрации от 0,01 до 2 м/сут (обычно это супеси или легкие суглинки), а также при неоднородном сложении грунтового массива. Этот метод позволяет удалять не только свободную (как при гравитационном дренировании), но и капиллярную воду, способствуя уплотнению и определенному упрочнению породы. При вакуумном водопонижении используют в основном эжекторные иглофильтровые установки. Их применение позволяет увеличить водоотбор в 10 и более раз и существенно снизить уровень грунтовых вод (до 18 м и более).

Для высокодисперсных и водонасыщенных грунтов, отличающихся низким коэффициентом фильтрации (менее 0,01 м/сут), используют *электроосмотическое осушение*, суть которого заключается в том, что при наложении на водонасыщенный глинистый грунт постоянного тока вода от анода передвигается в сторону катода за счет электроосмотического смещения жидкой фазы относительно поверхности частиц (рис. 2.17). Метод особенно эффективен для грунтов с содержанием частиц мельче 0,01 мм более 50%. Целесообразность его применения определяется величиной коэффициента электроосмотической эффективности (отношение коэффициента электроосмоса к коэффициенту фильтрации), который для связных грунтов составляет не

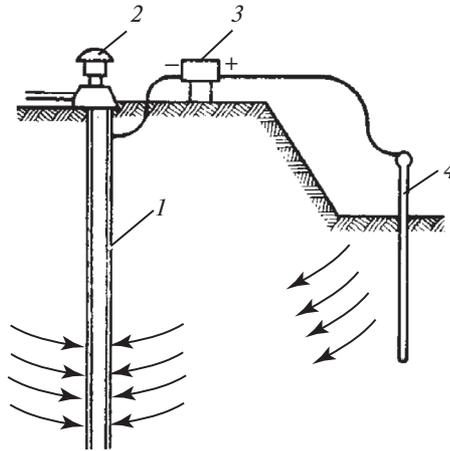


Рис. 2.17. Схема установки для обезвоживания грунтов методом электроосмоса:  
 1 – скважина с вставленным в нее металлическим фильтром; 2 – глубинный насос; 3 – генератор постоянного тока; 4 – металлический стержень

менее 2,5, а для некоторых дисперсных глин превышает 1000. Часто даже небольшое снижение влажности грунта при электроосмотическом осушении до влажности грунта на границе раскатывания и ниже позволяет заметно повысить его физико-механические характеристики [16].

В большинстве случаев электроосмотическое осушение грунтов используется в сочетании с другими методами – с откачкой или вакуумированием. Глубина заложения электродов зависит от мощности осушаемого участка. Время воздействия электрического тока определяется условиями работ и свойствами грунтов.

**Термическое упрочнение** связных грунтов формируется при обработке лесовых пород по разработанным Н.А. Осташевым и И.М. Литвиновым способам. Первый из них заключается в нагнетании в грунт через скважины воздуха, нагретого до температуры 600–850 °С. Более эффективен второй способ – сжигание различного вида топлива в устье самой скважины, герметически закрытой сверху (рис. 2.18).

Прогрев укрепляемой толщи грунта до температуры, вызывающей необходимые изменения его свойств, происходит в результате циркуляции нагретого воздуха или раскаленных продуктов сгорания. Во время обжига в скважине нагнетается сжатый воздух для поддержания избыточного давления, что усиливает циркуляцию раскаленного воздуха в грунте и обеспечивает равномерность обжига по глубине скважины.

Характер и интенсивность преобразования грунтов зависят от температуры и времени обработки. С увеличением температуры и времени воздей-

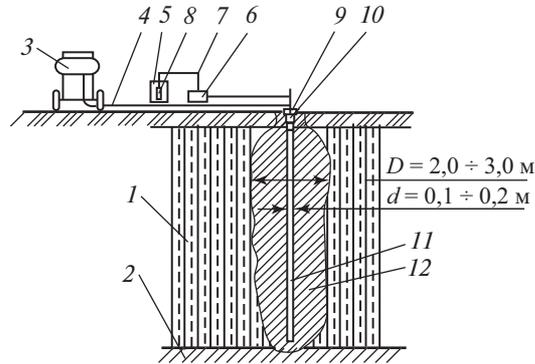


Рис. 2.18. Схема установки для термического закрепления просадочных лессовых грунтов сжиганием топлива непосредственно в скважине (<http://pusk.by>, 2007):

1 – просадочный грунт; 2 – непросадочный грунт; 3 – компрессор; 4 – трубопровод для холодного воздуха; 5 – емкость для жидкого горючего; 6 – насос для подачи горючего в скважину; 7 – трубопровод для горючего; 8 – фильтр; 9 – форсунка; 10 – затвор с камерой сгорания; 11 – скважина; 12 – зона термического закрепления грунта

ствия уменьшается плотность грунта (на 17–25%), причем наиболее интенсивное ее снижение происходит в пределах 600 °С. При обжиге изменяются показатели пределов пластичности, снижается влагоемкость, увеличивается прочность, повышается пористость, уменьшается способность к набуханию [17].

В зависимости от температуры обжига величина сцепления грунтов увеличивается более чем в 16 раз, угол внутреннего трения – в 2 раза, коэффициент внутреннего трения – в 2,2–2,5 раза по сравнению с исходными значениями. На интенсивность изменения прочностных показателей глинистых грунтов оказывает влияние и продолжительность воздействия высоких температур. При термической обработке глинистых грунтов (температура 850–900 °С) в течение 10 ч прочность увеличивается до 2,5 МПа, а за 22 ч она достигает 22,5 МПа [29].

Методы термической обработки грунтов применяются для стабилизации оползней, улучшения свойств просадочных грунтов, создания прочного основания, формирования термосвай высокой прочности, снижения бокового давления на подпорные стенки.

Нередко в строительстве для создания искусственного ограждения, предотвращающего приток воды в подземные выработки в связных грунтах, и временного упрочнения грунтов применяют **метод замораживания**. При использовании этого метода скорость формирования ледогрунтового ограждения (радиуса зоны распространения холода) зависит от типа грунтов, главным образом от их теплофизических свойств, количества и вида воды,

---

содержащейся в них, температуры охлаждающего раствора, расстояния между замораживающими колонками. Скорость нарастания толщины слоя по радиусу вокруг замораживающей колонки в глинистых грунтах составляет 0,01–0,015 м/сут [17].

**Улучшение связных грунтов физико-химическими методами.** *Инъекционное* физико-химическое укрепление связных грунтов, обладающих низкой проницаемостью и повышенной влажностью, затруднительно. Для улучшения их свойств используют вещества с пониженной вязкостью: силикат натрия, фенолформальдегидные и фурановые смолы, акрилаты и другие полимеры.

Наиболее широко применяется **силикатизация** лессовых грунтов, обладающих низкой водопроницаемостью и макропористостью, а также **электросиликатизация** для грунтов с коэффициентом фильтрации 0,01–0,1 м/сут [16].

Лессовые грунты успешно закрепляются раствором силиката натрия различной концентрации (плотность раствора – от 1,09 г/см<sup>3</sup>). При *однорастворной силикатизации* роль отвердителя играет сам грунт. Образующиеся в результате реакции силиката натрия с обменными основаниями и водорастворимыми солями на поверхности частиц и микроагрегатов пленки геля кремниевой кислоты обеспечивают грунтам прочность и водостойкость, при этом устраняется просадочность.

Прямой зависимости прочности закрепленных грунтов от величины емкости обмена не установлено, но в некоторых случаях с увеличением емкости поглощения (определяемой в 1 н. растворе NaOH) эффективность силикатизации повышается.

Упрочнение лессовых грунтов происходит в течение 15–30 сут после инъекции, однако около 70% прочности набирается почти мгновенно. Качество закрепления зависит от особенностей состава и свойств лессовых грунтов: емкости поглощения, состава обменных катионов, присутствия гипса, содержания и вида водорастворимых солей, влажности, а также модуля и концентрации силиката натрия. При силикатном модуле менее 2,5 водостойкость укрепленных грунтов снижается. Повышение модуля раствора от 2,5 до 3 способствует увеличению прочности закрепления в 2 раза.

При силикатизации повышаются прочность, сцепление, угол внутреннего трения и модуль деформации грунтов. Так, через месяц после инъекции модули деформации достигают 22–24 МПа при естественной влажности и 12–12,5 МПа при водонасыщении (согласно [18]). Величина сцепления составляет 0,15–0,23 МПа, а угол внутреннего трения повышается до 27–29°.

Влажность лессовых грунтов не только определяет границу применимости метода, но и влияет на их прочностные характеристики. При влажности грунтов, равной 10–12%, прочность грунтов, закрепленных силикатом натрия плотностью 1,13 г/см<sup>3</sup>, в зависимости от их активности колеблется от 0,6 до 1,6 МПа.

---

При влажности грунта 15–16% прочность снижается и составляет 0,5–1 МПа. Для грунтов с повышенной влажностью (23%) прочность не превышает 0,25–0,4 МПа, а иногда не обеспечивается их водостойкость. В таких случаях следует применять растворы с повышенной плотностью (1,20–1,30 г/см<sup>3</sup>). Но с повышением плотности растворов силиката натрия увеличивается их вязкость, что затрудняет процесс инъектирования, тем более в грунты с повышенной степенью водонасыщения.

Прочность укрепленных лессовых грунтов в значительной степени зависит от концентрации силиката натрия, глубины, расстояния от инъектора и технологических факторов. С повышением его плотности прочность закрепления при прочих равных условиях возрастает.

В результате обработки лессовых грунтов растворами силиката натрия практически полностью ликвидируется просадочность. После замачивания силикатизированного грунта осадка составляла 3,3 мм (при нагрузке 0,2 МПа), а незакрепленного грунта – 67 мм. Эффект закрепления стабилен во времени.

Закрепленные грунты сохраняют высокие прочностные показатели. Значения прочности и модуля деформации укрепленных грунтов через год после инъекции практически не меняются [17].

Лучшие результаты по прочности и водостойкости обеспечивает *газовая силикатизация* лессовых грунтов, основанная на инъекции растворов силиката натрия и последующем отверждении углекислым газом раствора силиката, не прореагировавшего с грунтом. Этот способ позволяет повысить качество закрепления (прочность, водостойкость, долговечность), уменьшить потери силиката натрия и увеличить объем укрепленного грунта при одинаковом расходе вяжущего.

При использовании газовой силикатизации прочность укрепленного грунта при одной и той же концентрации силиката натрия увеличивается в 1,5–2 раза. При этом объем укрепленного массива (при одинаковом расходе вяжущего) возрастает практически в 2 раза. Прочность укрепленных грунтов зависит от концентрации раствора силиката натрия и изменяется от центра инъекции к периферии.

Применение углекислого газа понижает выщелачивание кремниевой кислоты в 3,5–4 раза, что способствует повышению физико-механических характеристик укрепленных грунтов и уменьшению расхода силиката натрия на 18–20% [30].

Для лессовых грунтов с низкой емкостью поглощения (менее 10 мг-экв), высоким содержанием карбонатов (более 20%) и при степени влажности более 0,7 рекомендуется предварительная их обработка углекислым газом. Это позволяет подкислить поровый раствор и перевести часть CaCO<sub>3</sub> в бикарбонат кальция с последующим образованием большего количества соединений

---

известково-силикатного состава на поверхности частиц, что, в свою очередь, повышает прочность укрепленного грунта.

**Аммонизация** лессовых грунтов основана на нагнетании в них через инъекторы или пробуренные скважины при небольшом давлении (0,02–0,03 МПа) газообразного аммиака, который поглощается водными пленками грунта и вступает в реакции обмена с обменным комплексом породы. Насыщенность этого комплекса преимущественно ионами кальция определяет выделение высокодисперсной гидроокиси кальция на поверхности частиц и их контактах. Таким образом происходит как бы каркасное известкование породы. Кроме того, в результате взаимодействия коллоидного кремнезема с гидроокисью кальция образуется известково-кремнеземистое вяжущее. Аммонизированные грунты в значительной степени теряют просадочные свойства и не размокают [16].

Эффективность обработки лессовых грунтов аммиаком повышается с последующим нагнетанием углекислого газа. Обработка грунтов аммиаком, а затем углекислым газом в количестве 8 и 4 кг способствует формированию массива стабилизированного грунта радиусом 1,5–2 м. Прочность укрепленного грунта достигает 0,4–0,6 МПа, а его относительная просадочность снижается с 0,09 до 0,03 [18].

**Электрохимические методы** укрепления применяются для глинистых грунтов с коэффициентом фильтрации менее 0,01 м/сут. Они основаны на получении необратимых изменений состава и свойств грунтов под воздействием постоянного электрического тока. Существует три модификации этих методов:

- электрообработка в течение длительного периода времени без добавки электролита;
- электрообработка с введением растворов солей;
- электросиликатизация грунтов.

Длительное воздействие постоянного электрического поля на высокодисперсные грунты с коэффициентом фильтрации менее 0,005 м/сут и содержанием глинистых частиц более 50% приводит к необратимым изменениям их свойств. Изменяется их гранулометрический состав, уменьшается содержание частиц диаметром менее 0,01 мм на 10–15% в зависимости от состава грунтов и времени воздействия. Формирование коагуляционных и цементационных связей приводит к росту прочности грунтов до 0,2–0,5 МПа.

**Электролитическая обработка** глинистых грунтов с коэффициентом фильтрации 0,005–0,1 м/сут основана на совместном эффекте электроосмоса и электрохимического процесса, протекающих под действием постоянного тока и при введении в них через анод растворов электролитов (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, AlCl<sub>3</sub>, FeCl<sub>3</sub>). Образующиеся при электрохимических реакциях слаборастворимые соединения выпадают в осадок, цементируя ча-

стицы грунта. Кроме того, за счет  $\text{CO}_2$  воздуха из  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  может образовываться  $\text{CaCO}_3$ , что также способствует закреплению грунта (рис. 2.19). Количество вводимого в грунт хлористого кальция зависит от емкости обмена (часть  $\text{Ca}^{2+}$  расходуется на заполнение обменного комплекса), влажности грунта и концентрации порового раствора. Используемые на практике концентрации вводимого через анод электролита варьируют от 4 до 20%. При электролитической обработке преобразование свойств грунтов происходит в три стадии: сначала преобладают электрокинетические и электрохимические процессы; затем интенсивность электроосмоса падает, в грунте накапливаются новые химические соединения, цементирующие частицы; в дальнейшем самопроизвольное упрочнение грунта может продолжаться несколько лет после прекращения воздействия за счет кристаллизации и перекристаллизации этих соединений [19]. В результате электролитической обработки уменьшаются набухаемость, пучинистость и усадочность грунтов, увеличивается угол внутреннего трения и сцепление. Максимальная прочность полученных техногенных грунтов на одноосное сжатие достигает 0,6–0,8 МПа.

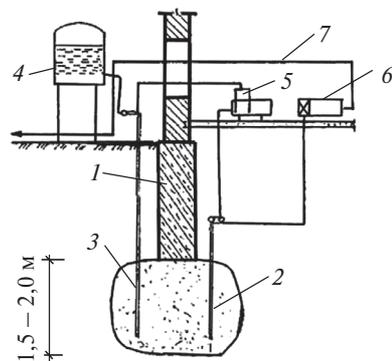


Рис. 2.19. Технологическая схема производства работ по закреплению грунтов электролитическим методом (<https://studfiles.net>, 2016):  
1 – фундамент; 2 – катод; 3 – анод; 4 – емкость для раствора солей; 5 – генератор постоянного тока; 6 – насос для откачки воды от катода; 7 – трубопровод

Эффект укрепления грунтов методом *электросиликатизации* – пропускания через инъекторы (как электроды) постоянного тока – зависит от их минерального состава, дисперсности, влажности, а также от минерализации поровых вод. Пылеватые супеси с коэффициентом фильтрации 0,03–0,06 м/сут, укрепленные по двухрастворной схеме с использованием растворов силиката натрия (плотностью 1,16 г/см<sup>3</sup>) и хлористого кальция (плотностью 1,07 г/см<sup>3</sup>) при градиенте потенциала постоянного электрического тока 0,7 В/см, имели прочность до 0,35 МПа и отличались водонепроницаемостью [31].

Для инъекционного закрепления пылевато-глинистых грунтов с коэффициентом фильтрации не менее 0,005 м/сут нередко применяется *защелачивание* с использованием растворов гидроксида натрия высокой концентрации.

Способ разработан в двух модификациях:

- в грунт вводят водный раствор 5–10 н. NaOH;
- вначале грунт обрабатывают насыщенным раствором гидроксида кальция, а затем вводят 2,5–4 н. раствор NaOH.

Радиус закрепления составляет 0,5 м. Результатом такой обработки является частичная цеолитизация алюмосиликатной составляющей грунта и

образование новых структурных связей. В результате щелочного гидролиза прежде всего глинистой составляющей грунтов через 7–8 дней в поровом пространстве наблюдается осаждение аморфного алюмосиликатного геля цеолитового состава, который в дальнейшем способен перекристаллизовываться с образованием низкокремнеземистых цеолитов за счет разложения глинистых минералов. При наличии в грунтах гипса, кальцита и других минералов в грунтах кристаллизуются гидросиликаты кальция и магния. Результатом такого преобразования твердой компоненты является увеличение прочностных характеристик глинистых грунтов – прочность на одноосное сжатие повышается до 7–8 МПа, сцепление – в 1,5–2 раза, пористость снижается в среднем на 10–15%, коэффициент сжимаемости – в 2–4 раза, ликвидируется просадочность в лессах. Изменяются все физико-химические свойства [16]. Так, верхний предел пластичности возрастает на 30–40%, а число пластичности снижается примерно в 2 раза, в результате чего грунты сохраняют твердую консистенцию в широком диапазоне влажности. Кроме этого, повышается агрегированность частиц, а плотность твердой фазы уменьшается до 2,4–2,45 г/см<sup>3</sup>. Определяющее влияние на эффективность защелачивания грунтов оказывают состав и степень кристалличности глинистых минералов, контролирующих их растворимость в концентрированных растворах щелочей.

**Армированные грунты.** Армирование грунтов проводится путем создания пространственных конструкций за счет внедрения в грунтовой массив систем элементов с повышенной прочностью или плотностью, а также совмещением грунтовых масс с армирующими элементами (пленками, сетками, тканями, металлическими полосами, стержнями и др.) с последующей укладкой и уплотнением нового композитного материала (рис. 2.20).

Для устройства армирующих элементов (в виде свай, колонн, стен) используют различные технологии. Грунт перемешивается с вяжущими веществами (известью, цементом, гипсом и др.). Дозировки вяжущих в зависимости от состава грунтов составляют для извести 5–15%, для цемента – 10–25%. При обработке органосодержащих грунтов расход цемента может достигать 40% и более. Оптимальная дозировка вяжущих веществ повышается с увеличением природной влажности и числа пластичности грунтов, а также количества содержащихся органических веществ [17].

С использованием струйной геотехнологии создаются армирующие элементы для усиления оснований фундаментов, создания противофильтрационных завес и экранов и решения многих других задач. Прочностные характеристики сформированных элементов зависят от состава и свойств грунтов, технологии работ и количества вяжущего [16].

Многочисленные исследования отечественных изыскателей и проектировщиков [32; 21; 33; 34 и др.] показывают, что в результате армирования

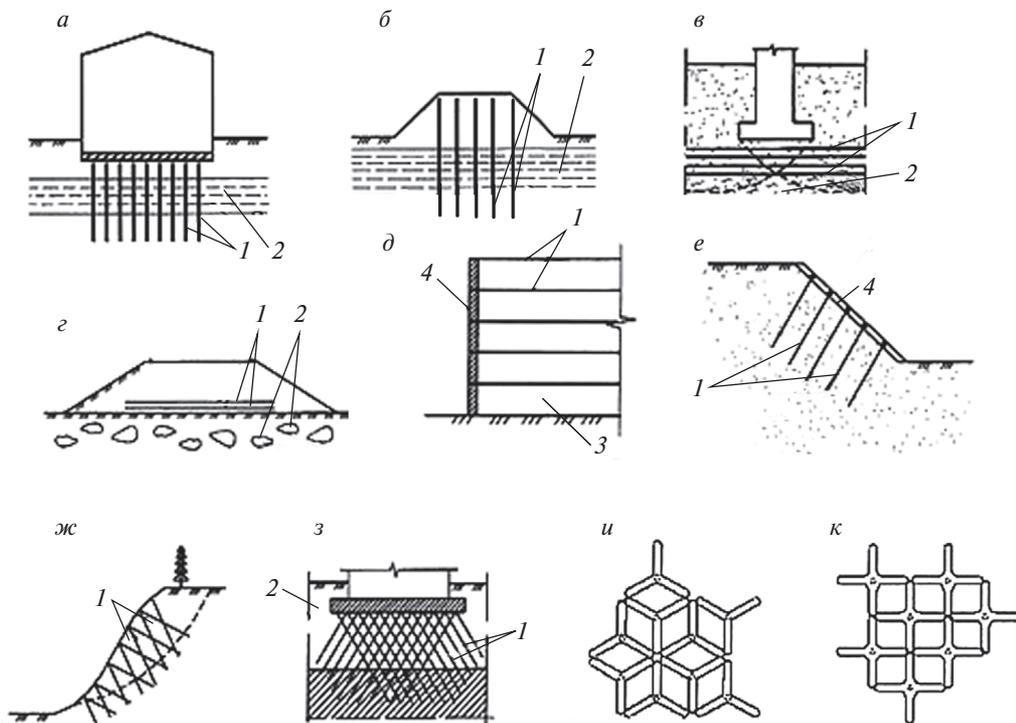


Рис. 2.20. Характер расположения армирующих элементов:

*a, б* – вертикальное; *в, г, д* – горизонтальное; *е, ж, з* – наклонное в одном или нескольких направлениях; *и, к* – ячеистые структуры; схемы усиления основания армирующими элементами: *1* – армирующие элементы; *2* – слабый грунт; *3* – насыпной грунт; *4* – облицовка

возможно увеличение расчетного сопротивления грунтов основания в 1,5–2,5 раза, при этом модуль деформации армированного основания может вырастать в 2,5–4,5 раза. Например, на ряде объектов в Минске армирование слабых грунтов основания вертикальными цементно-грунтовыми столбами позволило повысить модуль деформации грунтов с 5–7 до 20–30 МПа [35].

Армирование грунтов и устройство армирующих элементов осуществлено на многих объектах республики, причем во внушительных объемах [26]. В частности, при строительстве станций Минского метрополитена, подземного торгового центра с паркингом на пл. Независимости, здания ОАО «Приорбанк» по пр. Победителей, канализационного коллектора «Центр» в Минске, подземной станции очистки воды на Белорусском металлургическом заводе в Жлобине, технологической линии по производству стекла на ОАО «Гомельстекло» в Гомеле, реконструкции Летнего амфитеатра в Витебске и ряда других объектов (рис. 2.21).



Рис. 2.21. Устройство армирующих элементов по периметру котлована для здания ОАО «Приорбанк» по пр. Победителей в Минске [35]

### 2.1.3. Криогенные грунты

Улучшенные мерзлые грунты формируются в результате целенаправленного изменения среднегодовой температуры, состава, строения и свойств мерзлых, промерзающих и протаивающих грунтов методами тепловой, водно-тепловой, механической, физико-химической и химической мелиорации [36].

**Тепловая мелиорация** основана на искусственном понижении или повышении температуры грунтов путем регулирования соотношения составляющих радиационного или теплового баланса с помощью навесов, охлаждающих устройств (проветриваемых подполий, вентиляционных каналов), окрашивания поверхности грунтов или покрытия ее различными теплопрозрачными пленками, удаления (или насаждения) растительного покрова, влияния на снегонакопление, искусственного замораживания или оттаивания пород и т.д.

При **водно-тепловой мелиорации** используется тепло, переносимое при фильтрации воды через грунт (дождевальное, фильтрационно-дренажное и фильтрационно-игловое оттаивание, гидрооттайка) (рис. 2.22).

**Механическая мелиорация** предполагает уплотнение или разуплотнение грунтов (например, глубокое рыхление), обезвоживание и др.

**Физико-химическая и химическая мелиорация** основана:

- на использовании тепла, выделяющегося или поглощающегося при химических реакциях;
- изменении свойств и агрегатного состояния грунтов (обработка грунтов поверхностно-активными веществами, смолизация, гипсование и известкование, битумизация и др.).

На практике, однако, наиболее широко применяются методы тепловой и водно-тепловой мелиорации, направленные на ускоренное искусственное из-

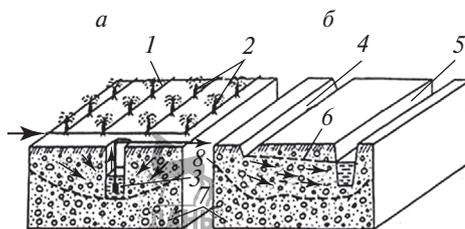


Рис. 2.22. Схемы оттаивания мерзлых грунтов дождевальным (а) и фильтрационно-дренажным (б) способами (<https://lektsii.org>, 2015):

1 – распределительные трубопроводы; 2 – дождевальные насадки; 3 – дренажный колодец с насосом; 4, 5 – каналы (4 – оросительная, 5 – дренажная); 6 – уровень грунтовых вод; 7 – гравийно-галечные грунты; 8 – граница многолетнемерзлых грунтов

менение температуры мерзлых грунтов, промораживание талых или оттаивание многолетнемерзлых грунтов до начала или уже в процессе строительства.

Для превращения пластичномерзлых и талых грунтов в твердомерзлые с повышением их прочности и снижением деформируемости, а также обеспечения однородных мерзлотных условий на стройплощадке используется *естественное* (с помощью воздушных колонок и термосифонов) и *искусственное* (с помощью холодильных машин) *охлаждение*. В первом случае охлаждение ведется только в зимний период, а во втором – всесезонно. Оно проводится через скважины, расположенные в шахматном порядке с определенным шагом, определяемым расчетом, в которые опущены замораживающие колонки. При воздушном охлаждении колонка состоит из двух коаксиальных труб (конструкций, состоящих из двух труб разного диаметра). При создании вентилятором тяги из внутренней трубы во внешнюю за счет создаваемого разрежения поступает холодный зимний воздух. Вместо внешней трубы иногда используется сама скважина. Термосифоны представляют собой герметичную трубу, заполненную хладагентом (керосином, фреоном, аммиаком, пропан-бутаном) и одним концом погруженную в скважину. Охлаждение стенок термосифона происходит благодаря конвекции хладоносителя в зимнее время за счет разницы его температур и плотностей в верхней и нижней частях трубы или испарения-конденсации хладоносителя. Глубина охлаждения грунта термосифонами обычно не превышает 15 м. Машинное охлаждение производится с помощью аммиачно-рассольных установок путем прокачки охлажденного в холодильной машине от  $-20$  до  $-40$  °С рассола насосом через колонки. Радиус охлаждения определяется с учетом теплопроводности и плотности грунта в мерзлом и талом состояниях, температуры начала замерзания, суммарной влажности грунта и содержания незамерзшей воды [16].

Эффективными по простоте эксплуатации и экономичности являются саморегулирующие сезоннодействующие охлаждающие установки (СОУ),

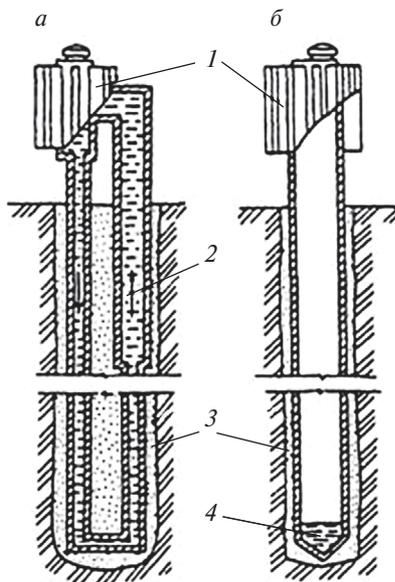


Рис. 2.23. Конструкции саморегулирующихся сезоннодействующих охлаждающих установок (<https://leksii.org>, 2015):  
*a* – жидкостных (система Гапеева); *б* – парожидкостных (система Лонга); 1 – радиатор; 2 – хладагент (керосин); 3 – насыпной грунт; 4 – хладагент (пропан)

или, как их называют, термосваи. Конструкции термосвай были разработаны в 1960-х гг. почти одновременно в России С.И. Гапеевым и в США Е.А. Лонгом. Принцип их работы основан на замкнутой конвекции хладагента – жидкостного, обычно керосина (термосвай Гапеева), или парожидкостного, обычно пропана, аммиака, фреона (термосвай Лонга). Конвекция обуславливается разностью плотностей хладагента в надземной и подземной частях установок (рис. 2.23). В холодный период температура верхнего оголовка сваи ниже, чем температура грунта на глубине нижнего конца сваи. В этих условиях пропан (в термосваях Лонга), испаряясь, поднимается вверх, конденсируется на стенках сваи и в виде жидкости с температурой, близкой к температуре воздуха, поступает в основание сваи, охлаждая прилегающий грунт. Жидкостные термосваи работают по этому же принципу: холодный керосин, опускаясь, вытесняет вверх менее плотный и теплый, при этом охлаждает грунт.

В настоящее время разработаны и внедрены многие модификации жидкостных и парожидкостных охлаждающих установок, отличающихся высокими показателями охлаждения, однако принцип работы всех этих конструкций остается тем же.

## 2.2. Ухудшенные грунты

Ухудшенные по свойствам грунты в условиях их естественного залегания формируются в результате изменений напряженного состояния горных пород, режима подземных вод, влажности грунтов, засоления и загрязнения грунтов жидкими углеводородами, промышленными и бытовыми стоками.

*Грунты, ухудшенные изменением их напряженного состояния*, образуются на подрабатываемых территориях, в пределах массивов, непосредственно прилегающих к горным выработкам (карьерам, шахтам, котлованам, тоннелям) за счет разгрузки напряжений при выемке породы, импульсных динамических нагрузках большой мощности при взрывных работах, а также из-за последующей интенсификации выветривания. Все эти процессы приводят к возникновению или усилению трещиноватости, разуплотнению и снижению прочностных и деформационных характеристик, понижению морозостойкости [16]. Показательным примером в этом отношении является шахтная разработка калийных солей Старобинского месторождения ОАО «Беларуськалий» в Солигорске. Спустя три года после отработки второго и третьего продуктивных горизонтов в северо-западной части шахтного поля первого рудоуправления на поверхности земли у его границы были зафиксированы открытые трещины и провальные воронки (рис. 2.24). Раскрытие трещин составляло от нескольких миллиметров до 5–10 см. Впоследствии это

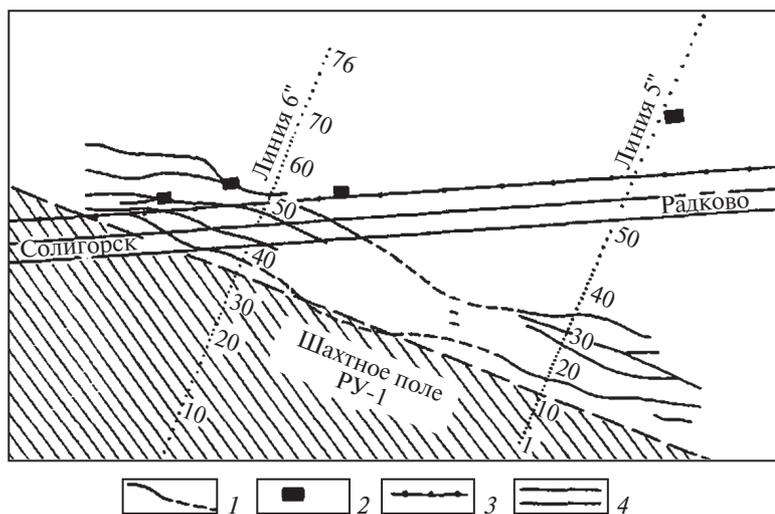


Рис. 2.24. Характер распространения трещин на земной поверхности вблизи шахтного поля первого рудоуправления ОАО «Беларуськалий» [37]:

1 – линии трещин; 2 – разведочные шурфы; 3 – водовод; 4 – автодорога

предопределило развитие в верхних горизонтах четвертичной супесчано-суглинистой толщи эрозионных и суффозионных процессов, приведших к образованию эрозионно-провальных воронок, различных по конфигурации и морфометрии (рис. 2.25).

**Грунты, ухудшенные изменением влажностного режима**, могут возникать в результате подъема уровня подземных вод или техногенного обводнения (подтопления), вызванного утечками из систем водоснабжения и канализации. Согласно Е.С. Дзекцеру [38], техногенное обводнение дисперсных грунтов способно привести к снижению показателей их физико-механических свойств (сцепление может уменьшиться в 2–2,5 раза, угол внутреннего трения – на 10–15%, модуль деформации – в 2–3,5 раза) и, как результат, возникновению различного рода деформаций зданий и сооружений.

Например, в Витебске в возводимом здании жилого дома по Московскому проспекту после двух лет перерыва в строительстве произошла деформа-

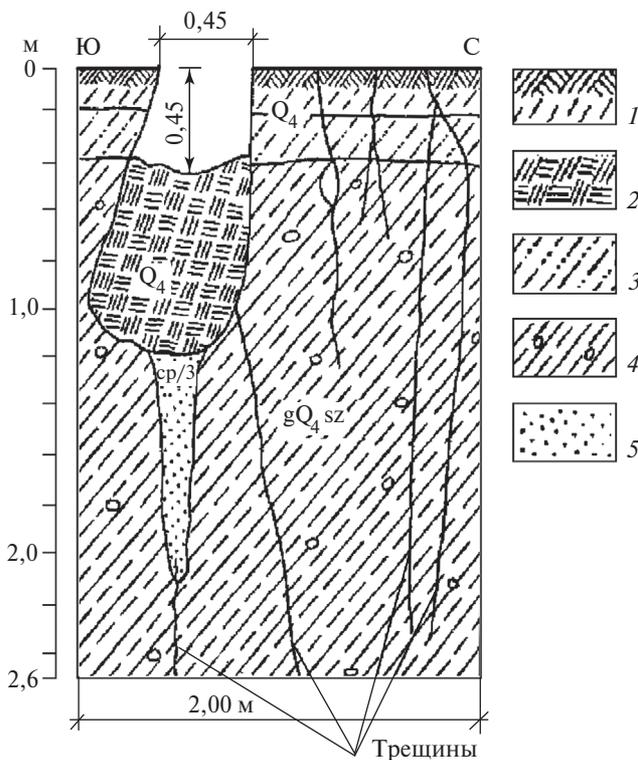


Рис. 2.25. Геолого-литологический разрез стенки шурфа, пройденного на месте провальной воронки [37]: 1 – почвенно-растительный слой; 2 – перемешанный грунт в провале; 3 – суглинок легкий лессовидный – элювий; 4 – супесчано-суглинистые грунты сожской морены; 5 – песок среднезернистый

---

ция фундаментных стеновых блоков, выраженная в образовании трещин с шириной раскрытия до 50 мм. Обследование несущих конструкций здания позволило установить, что причиной образования трещин в стеновых блоках послужило расструктурирование грунта основания, вызванное неравномерным обводнением, а следовательно, различными физико-механическими свойствами супесей, залегающих в основании фундамента [26]. В Могилеве в здании ЗАО «Технопарк Могилев» из-за неравномерных деформаций основания вследствие подтопления грунтовыми водами по несущим стенам произошло образование наклонных и вертикальных трещин, подвальная часть здания заполнилась грунтовыми водами. Из-за увлажнения грунтов основания и дополнительных вибрационных нагрузок произошло неравномерное оседание здания поста электрической централизованной станции Могилев-1, о чем свидетельствовали многочисленные трещины с шириной раскрытия 3 мм и более на его фасаде. В г. Быхов Могилевской области в здании отделения ОАО «Белагропромбанк» из-за замачивания грунтов основания и, как следствие, неравномерности осадок на внутренней несущей стене появились вертикальные трещины, превышающие 20 мм. Несмотря на ремонт здания, трещинообразование долгое время не прекращалось [39].

Ухудшение свойств грунтов может происходить и в результате *изменения их состава* при засолении либо загрязнении неорганическими (тяжелые металлы, цианиды, минеральные соли и удобрения и др.), органическими (нефть и нефтепродукты, хлорорганика, пестициды, ПАВ, кетоны, спирты, фенолы и др.), радиоактивными и другими компонентами. Источниками загрязнения грунтов неорганическими веществами служат различные объекты горнодобывающей, горно-перерабатывающей (особенно хвостохранилища, отстойники, отвалы, шламонакопители и т.п.), химической и металлургической промышленности, предприятия топливно-энергетического комплекса (прежде всего работающие на угле), машиностроения и др. Органические загрязнители попадают в грунты чаще всего при авариях на нефте- и продуктопроводах, сливах горючесмазочных материалов по обочинам дорог и на стоянках автотранспорта, в местах складирования и длительного хранения органических веществ и отходов. Потенциальными же источниками радиоактивного загрязнения грунтов являются аварии или чрезвычайные ситуации на атомных предприятиях и АЭС, предприятиях по добыче и обогащению радиоактивных веществ, утечки радиоактивных отходов в местах их хранения и переработки и др. [40].

Наличие в грунтах различных органических и неорганических веществ предопределяет существенные изменения их свойств. При этом следует заметить, что химические соединения различного состава и их количество оказывают разное, часто диаметрально противоположное влияние на свойства грунтов. Например, легкорастворимые соли ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{KCl}$  и др.) при

---

значительной концентрации оказывают дегидратирующее и коагулирующее влияние на глинистые грунты, снижая значения их характерных влажностей – гигроскопической, максимальной молекулярной влагоемкости, пределов пластичности и других и уменьшая показатели их физико-химических свойств. В то же время физико-механические свойства грунтов, особенно при содержании легкорастворимых солей в твердой фазе, могут существенно повыситься. При возможности выщелачивания этих солей физико-механические свойства грунтов изменяются в противоположном направлении. Выщелачивание солей обычно сопровождается значительным повышением водопроницаемости и дополнительной осадкой грунта.

Влияние среднерастворимых солей ( $\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и др.) на свойства грунтов проявляется при небольшом их содержании менее заметно, чем влияние легкорастворимых солей. Однако при высоком содержании этих солей (20–30%) роль их в формировании свойств грунтов значительно возрастает. Поскольку гипс из-за сравнительно низкой растворимости присутствует в грунте в основном в твердом виде, то он, с одной стороны, заметно уменьшает плотность твердых частиц грунта, так как плотность гипса значительно меньше, чем плотность алюмосиликатов, а с другой стороны, повышает плотность скелета и снижает пористость, заполняя поры и дегидратируя грунт. Показатели физико-химических свойств грунта под влиянием гипса снижаются меньше, чем при содержании легкорастворимых солей, так как концентрация его в поровых растворах сравнительно небольшая. Физико-механические свойства загипсованных грунтов существенно повышаются за счет формирования цементационных структурных связей. Процессы выщелачивания в загипсованных грунтах идут значительно медленнее, чем в грунтах, засоленных легкорастворимыми солями. Однако в местах складирования отходов производств, содержащих сульфаты (например, отвалы фосфогипса ОАО «Гомельский химический завод), эти процессы развиты достаточно широко и при наличии растворов определенного состава и концентрации могут сильно активизироваться, результатом чего будут существенные изменения физико-механических свойств грунтов, повышение их водопроницаемости и снижение прочности [26].

Труднорастворимые соли ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  и др.) оказывают значительно меньшее влияние на свойства грунтов, чем среднерастворимые и особенно легкорастворимые. Это влияние в основном проявляется в улучшении механических свойств грунтов, понижении их пористости и водопроницаемости. Однако под влиянием соответствующих растворов (особенно при наличии  $\text{CO}_2$ ) свойства карбонатных грунтов могут существенно ухудшаться.

Содержание в грунтовых массивах различных органических веществ также приводит к изменению состава и свойств грунтов. Так, согласно В.А. Королеву [40], жидкие углеводородные загрязнители способны находиться на поверхности частиц или стенок трещин в виде конденсированных или ад-

---

сорбированных компонентов, формирующих манжеты либо более или менее протяженные прерывистые адсорбционные пленки. Если жидкие пленки нефтепродуктов полностью покрывают поверхность частиц, то образуется сплошной слой загрязнителей определенной толщины. Наряду с этим жидкие нефтепродукты могут находиться в порах дисперсных грунтов в виде рассеянных капель или эмульсий несмешивающихся жидкостей, что особенно характерно для жидких углеводородов. При этом отдельные капли нефтепродуктов, мигрирующие в поровом растворе грунтов, могут защемляться в тупиковых порах дисперсных грунтов. В том случае, если жидкий загрязнитель полностью заполняет все поры или трещины грунта, формируется наибольшая концентрация загрязнителя. Количество сорбированных жидких углеводородов в единице объема грунта зависит от общего свободного объема капилляров, т.е. от гранулометрического состава и влажности грунта [17].

Однозначно прогнозировать влияние нефтяных загрязнителей на свойства дисперсных грунтов довольно сложно, так как большое значение имеет не только степень углеводородного загрязнения грунтов, но и гранулометрический и минеральный состав грунтов и свойства самих нефтепродуктов. Ввиду сложности процессов, развивающихся в грунтах при попадании разных нефтяных загрязнителей, в настоящее время отсутствует единое мнение об изменении структуры и свойств грунтов. Так, экспериментальными исследованиями [41] установлено, что при загрязнении дисперсных грунтов нефтью происходит изменение их гранулометрического состава: при добавлении в грунт 2,5% нефти наблюдается агрегация глинистых (менее 0,005 мм) частиц, а при загрязнении 10% нефти, наоборот, происходит диспергация микроагрегатов; при увеличении загрязнения от 0 до 1,5% плотность глин уменьшается от 2,74 до 2,6 г/см<sup>3</sup>. При изучении физико-химических и физико-механических свойств дисперсных грунтов, загрязненных нефтью, авторы установили, что пластичность и напряжение сдвига находятся в нелинейной и неоднозначной зависимости от количества загрязнителя.

Исследования [42] показали, что в загрязненных нефтепродуктами (моторным маслом) глинах агрегированию подвержена в основном глинистая фракция (степень агрегации – 39,6%), в суглинках – глинистая и пылеватая (5,02 и 7,5% соответственно), в супесях – пылеватая фракция (14,2%), причем наиболее интенсивно процессы агрегации протекают в глинах. Этим же автором выявлены взаимосвязи между вязкостью углеводородов и модулем деформации: с увеличением вязкости углеводородов модуль общей деформации глин увеличивается. Сопоставление изменений угла внутреннего трения и модуля деформации при углеводородном загрязнении позволило установить, что в песках и суглинках угол внутреннего трения, а в глинах модуль общей деформации подчиняются одной и той же закономерности: с увеличением вязкости поровой жидкости значения угла внутреннего трения и модуля деформации возрастают.

---

Опыты [43] обнаружили, что в песчаных грунтах с увеличением содержания машинного масла от 0 до 15% наблюдался рост угла внутреннего трения до 20%. При дальнейшем увеличении содержания масла до 20% отмечалось снижение угла на 6%. В глинистых же грунтах с увеличением содержания масла от 0 до 10% величина угла возросла на 54%. При дальнейшем увеличении содержания масла величина угла внутреннего трения снизилась на 40%. Удельное сцепление, напротив, с увеличением концентрации до 10% снизилось до 37% от первоначального значения, но при дальнейшем увеличении количества масла наблюдался незначительный рост (на 14%).

По мнению В.А. Королева [40], в грунтах, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, особенно сильно меняются реологические свойства. Это объясняется тем, что нефть и нефтепродукты существенно снижают трение на контактах частиц грунта, облегчая процессы объемной и сдвиговой ползучести. За счет этого загрязненный нефтью грунт имеет пониженный порог ползучести и более низкие параметры предельных напряжений сдвига.

В зависимости от способов воздействия на грунтовую среду строительство на техногенно загрязненных территориях может включать:

- замену загрязненного грунта;
- очистку и санацию загрязненного грунта;
- консервацию загрязненного грунта;
- предохранение грунта от загрязнения при создании полигонов для захоронения техногенных отходов;
- рекультивацию территорий.

При выборе той или иной технологии строительства зданий и сооружений на техногенно загрязненных территориях и грунтах необходимо обращать внимание на следующие факторы:

- глубину залегания зараженных грунтов и уровень грунтовых вод: при определенных условиях, при выборе определенной технологии возникают трудности не только финансовые, но и технические (например, выемка загрязненного грунта может быть практически невозможна);
- состав свалочных грунтов: грунт, залегающий на загрязненных территориях, как правило, неоднороден (крупные включения, шлаки, строительный мусор) и обладает различной несущей способностью;
- степень опасности техногенно загрязненных грунтов: наряду с тяжелыми металлами и нелетучими веществами в грунте распространены легкие летучие вещества, которые представляют при строительстве потенциальную опасность, так как могут заражать воздушную среду;
- необходимость и возможность защиты грунтового основания от фильтрации, снятия гидравлического давления грунтовых вод и защиту их от загрязнения;
- функциональное назначение здания или сооружения, которое предполагается построить на техногенно загрязненной территории.

---

## Вопросы для самоконтроля

1. Для каких целей и какими методами создаются улучшенные скальные техногенные грунты?
2. Чем определяются свойства улучшенного скального грунта?
3. Что собой представляет метод торкретирования скальных грунтов?
4. Какие скальные и полускальные грунты хорошо поддаются цементации?
5. Что является критерием успешной цементации массива скальных грунтов?
6. На какие группы по механизму преобразования состава и свойств принято разделять все улучшенные дисперсные грунты?
7. Что понимают под физически измененными дисперсными грунтами?
8. Что такое физико-химически измененные дисперсные грунты?
9. Что понимают под армированными дисперсными грунтами?
10. Назовите механические методы улучшения свойств несвязных дисперсных грунтов, охарактеризуйте их.
11. Охарактеризуйте способы водопонижения в водонасыщенных массивах несвязных дисперсных грунтов, укажите условия их применения.
12. В чем сущность термического упрочнения несвязных грунтов?
13. Назовите условия применимости и сущность метода промораживания несвязных грунтов.
14. Какие физико-химические методы используют для улучшения свойств несвязных дисперсных грунтов? Укажите условия их применения.
15. В каких случаях для улучшения свойств несвязных дисперсных грунтов применяют методы двухрастворной и однорастворной силикатизации?
16. Охарактеризуйте способы создания улучшенных физически измененных связных грунтов.
17. Как влияют свойства различных связных грунтов на степень их уплотнения?
18. Какими методами получают осушенные связные грунты? Укажите условия их применения.
19. Назовите физико-химические методы улучшения свойств глинистых грунтов, охарактеризуйте технологии их применения.
20. Какими физико-химическими методами улучшают свойства лессовых грунтов?
21. Какие технологии используют в армировании грунтов?
22. Какие методы применяют для улучшения свойств мерзлых грунтов? Дайте им краткую характеристику.
23. Охарактеризуйте причины формирования ухудшенных по свойствам грунтов в условиях их естественного залегания.

## **Характеристика техногенных грунтов, созданных перемещением природных грунтов в процессе строительной и другой производственной деятельности**

---

### **3.1. Насыпные грунты**

Все массивы насыпных грунтов по технологии своего образования можно подразделить на планомерно отсыпанные (насыпи) и отвалы.

**Планомерно отсыпанные техногенные грунты.** Планомерно отсыпанные техногенные грунты образуются в результате инженерно-строительной деятельности при возведении разнообразных земляных сооружений, гидротехническом, транспортном строительстве и т.д. Они слагают насыпи, плотины, площадки, используются для создания грунтовых подушек. Состав грунтов определяется в зависимости от инженерно-строительных задач. Для отсыпки используются крупнообломочные, песчаные и глинистые грунты. Состав отсыпанных массивов грунтов, как правило, однородный, за исключением особых случаев, когда создается глинистое противоперифильтрационное ядро в теле насыпной плотины и др.

Свойства насыпных грунтов определяются главным образом составом перемещаемых природных образований, их предварительной подготовкой и технологией ведения работ. Эти грунты чаще всего укладываются с послойным уплотнением укаткой, нередко с трамбованием при влажности, соответствующей влажности оптимального уплотнения. В связи с этим насыпные грунты обладают заданными или близкими к ним физическими и физико-механическими свойствами, которые могут медленно изменяться во времени [16].

Уплотнение насыпных грунтов производят при оптимальной нагрузке. Уплотняясь, частицы грунта сближаются, а следовательно, происходит усиление молекулярных и других связей между этими частицами [17]. Согласно исследованиям Е.М. Сергеева, оптимальная нагрузка уплотнения уменьшается с ростом дисперсности грунтов и в среднем составляет для моренных суглинков 30 МПа, покровных суглинков – 10 МПа, моренной и бентонитовой глин – 6 МПа. При уплотнении рыхлых песков пористость уменьшается от 47–50 до 25–28%, а несущая способность увеличивается от 0,05 до 0,3 МПа [7].

С целью получения более надежных оснований, что особенно существенно для дорожных оснований, применяют так называемые оптимальные грунтовые смеси. Оптимальная смесь состоит из различных по крупности частиц, взятых в определенном соотношении, обеспечивающем повышенное внутреннее трение и сцепление между частицами и высокую плотность смеси. Ориентировочно можно считать, что в оптимальной смеси должно быть от 7 до 15% глинистых частиц, от 20 до 35% пылеватых и не менее 55% песчаных. Наиболее крупные частицы составляют скелет оптимальной смеси, крупные пылеватые частицы располагаются в порах, уменьшая пористость и увеличивая плотность грунта, мелкие пылеватые и глинистые частицы соединяют составные части смеси в плотную массу. Как правило, чем крупнее скелетные частицы, тем выше устойчивость улучшенного слоя (при его одинаковой толщине) против воздействия нагрузок [26].

Н.Н. Ивановым [44] на основании анализа результатов многочисленных исследований составления оптимальных смесей минеральных материалов была установлена зависимость пористости от количества и размера фракций и предложены предельные кривые оптимальных смесей (рис. 3.1). Смеси, укладываемые в эти пределы, обладают требуемой плотностью (влажностью) и практически могут приниматься в качестве оптимальных.

Е.Г. Борисовой [45] описаны наиболее существенные свойства для укладываемых оптимальных смесей: нижний предел пластичности – 2–7%, число пластичности – 0–6%, максимальная липкость – до 80 г/см<sup>2</sup>, прочность на одноосное сжатие в воздушно-сухом состоянии – 2–3 МПа.

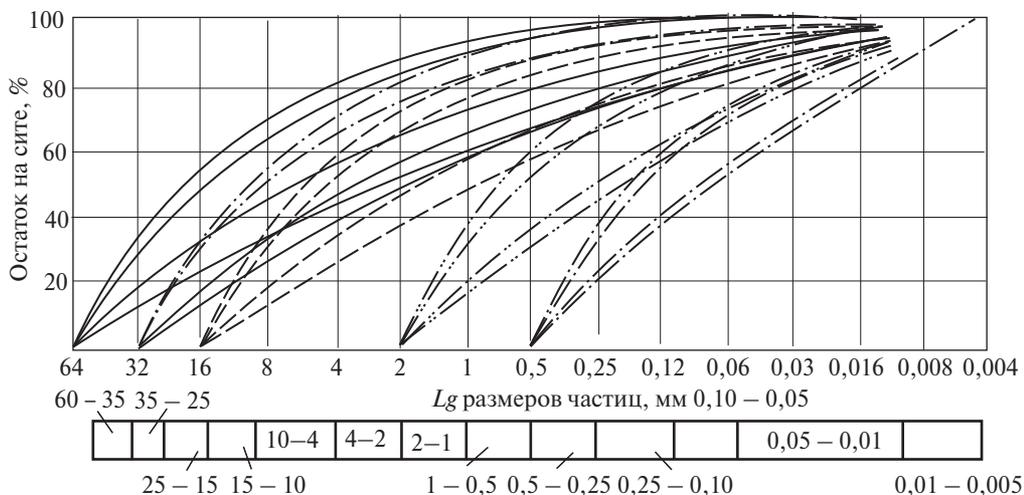


Рис. 3.1. Предельные кривые оптимальных грунтовых смесей [44]

---

**Техногенные грунты отвалов горного производства.** При добыче твердых полезных ископаемых открытым и подземным способами вскрышные и вмещающие горные породы складируются в большинстве случаев на поверхности земли. Так образуются массивы насыпных грунтов – отвалы (при открытом способе добычи полезного ископаемого) и терриконы, или шахтные отвалы (при подземной добыче). При этом формируются техногенно переложенные (преимущественно песчано-глинистого состава) и техногенно образованные (крупнообломочные, возникшие при дроблении скальных и полускальных грунтов) грунты.

В зависимости от способа доставки вскрышных пород отвалы делятся на бестранспортные, формирующиеся конвейерными ленточными транспортерами или отвалообразователями, и транспортные, создающиеся с помощью автомобильной или железнодорожной техники. Бестранспортные отвалы, как правило, отсыпаются по откосу и по способу укладки образуют конические и хребтовые формы, а транспортные – послойно с образованием плоских форм.

По месту расположения отвалы бывают внутренними и внешними. Первые создаются в отработанном пространстве карьера, вторые – на некотором расстоянии от горной выработки. По строению внешние отвалы подразделяются на одноярусные, когда отсыпка ведется на почву (обычно они высотой 15–40 м с углом естественного откоса 32–40°), и многоярусные, когда отсыпка осуществляется на ранее отсыпанный отвал (имеют высоту 40–150 м и угол откоса 16–20°). По орографии выделяют отвалы высотные, углубленные (формируются в пониженных участках рельефа и используются при планировке территории) и подземные (засыпаемые в отработанное пространство под землей).

*Техногенные грунты отвалов открытой разработки полезных ископаемых* формируются за счет местных природных грунтов, сложение которых нарушено в результате производства горнотехнических работ. Так, отвалы вскрышных пород отработанного доломитового карьера «Руба» в окрестностях Витебска, сформированные в разные годы эксплуатации карьера, сложены преимущественно глинистыми грунтами, по составу представленными моренными суглинками и супесями с гравийно-галечным материалом (до 15%), гнездами песков и обломками доломитов различного размера (до 10%) суммарной мощностью более 17 м. Местами техногенные глинистые грунты перекрыты маломощными (2–4 м) переложенными аллювиальными серовато-бурыми пылеватыми песками, иногда мелкими и средними, часто с супесчано-суглинистыми гнездами и линзами. К песчаным отвалам повсеместно приурочен горизонт грунтовых вод, вскрываемый на глубине 0,5–0,6 м.

По результатам инженерных изысканий, проведенных Витебским отделом РУП «Геосервис», песчаные грунты этих отвалов преимущественно рыхлого сложения, коэффициент пористости их в среднем составляет 0,73, коэффициент фильтрации – 0,52 м/сут, угол естественного откоса в сухом состоянии – 44°, под водой – 32° [26].

Отвалы глинистые грунты обладают высокой плотностью и имеют преимущественно полутвердую и тугопластичную консистенцию, умеренную естественную влажность, они слабо водопроницаемы, при промерзании склонны к пучению. Сжимаемость насыпных глинистых грунтов в основном средняя, их модуль деформации по компрессионным испытаниям в интервале нагрузок  $1-2 \cdot 10^5$  Па составляет 3,2–5,9 МПа (табл. 3.1), сцепление –  $0,18-0,31 \cdot 10^5$  Па (по данным лабораторных исследований,  $0,45-0,52 \cdot 10^5$  Па), коэффициент внутреннего трения изменяется в диапазоне 0,195–0,28 (по лабораторным данным, 0,093–0,193) (табл. 3,2, 3.3).

Анализируя данные табл. 3.1–3.3, можно заметить, что после отсыпки отвала с глубиной происходит закономерное уплотнение грунтов и повышение показателей их прочности. Однако с течением длительного времени в отвале могут происходить различные химико-минеральные преобразования состава грунтов за счет процессов выветривания и некоторое разуплотнение, что необходимо учитывать при оценке свойств отвалов [7].

Свойства техногенных грунтов отвалов отличаются от свойств грунтов в естественном залегании. Происходящие при разработке, транспортировке и складировании нарушения структурных связей грунтов, гранулометрического состава и влажности приводят к тому, что техногенные грунты обладают меньшей плотностью и прочностью по сравнению с природными.

При инженерно-геологических исследованиях отвалов вскрышных пород приоритетными являются полевые методы испытаний. Их результаты должны сопоставляться с данными лабораторных исследований с целью получения корреляционных зависимостей показателей свойств в пределах изучаемого техногенного массива [17].

В отвалах происходят различные процессы, влияющие на состав, состояние и свойства отсыпанных грунтов: выветривание, обвалы и оползни в откосах отвалов, формирование техногенного водоносного горизонта, образование суффозионных провалов и т.д. При рекультивации отвалов проводятся специальные мероприятия по предотвращению развития нежелательных процессов и явлений (выполаживание откосов, террасирование склонов, землевание, фитомелиорация и др.).

**Техногенные грунты терриконов** формируются при отсыпке на поверхности земли вскрышных и вмещающих пород в ходе подземной разработки различных полезных ископаемых, в частности при добыче углей. В составе грунтов преобладают обломки сланцев, аргиллитов, алевролитов, песчаников, присутствуют уголь (от 12 до 40%, в среднем 20%), древесина (обломки крепи, шпалы и т.д.), различные металлические предметы (куски труб, рельсов). Состав углей предопределяет состав грунтов терриконов. При добыче бурых углей в отвалах преобладают глины, длиннопламенные и газовые угли – обломки аргиллитов, жирных и коксующихся углей – обломки глинистых сланцев.

Таблица 3.1. Характеристика физических и физико-механических свойств насыпных глинистых грунтов карьера «Руба» (по данным Витебского отдела РУП «Геосервис», 2008)

ИГЭ	Количество определений	Естественная влажность, %	Плотность влажного грунта, г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости, д.е.	Степень влажности, д.е.	Граница		Число пластичности, %	Показатель текучести, д.е.	Коэффициент сжимаемости, 10 <sup>-5</sup> Па <sup>-1</sup>	Модуль деформации, МПа
						текучести, %	раскатывания, %				
1	38	$\frac{12-19}{15}$	$\frac{1,97-2,17}{2,09}$	$\frac{0,41-0,58}{0,49}$	$\frac{0,7-0,9}{0,8}$	$\frac{17-24}{20}$	$\frac{11-13}{12}$	$\frac{6-10}{8}$	$\frac{0,08-0,88}{0,39}$	$\frac{0,018-0,026}{0,021}$	$\frac{3,2-4,9}{4,0}$
2	7	$\frac{12-18}{15}$	$\frac{2,07-2,16}{2,11}$	$\frac{0,40-0,54}{0,48}$	$\frac{0,8-0,9}{0,9}$	$\frac{20-24}{21}$	$\frac{12-14,5}{13}$	$\frac{8-9}{8}$	$\frac{0,03-0,36}{0,27}$	0,019	4,2
3	35	$\frac{12-17}{14}$	$\frac{2,06-2,18}{2,13}$	$\frac{0,41-0,50}{0,45}$	$\frac{0,7-0,9}{0,8}$	$\frac{19-25}{21}$	$\frac{11-14}{12}$	$\frac{7-11}{8,5}$	$\frac{0,00-0,53}{0,26}$	$\frac{0,014-0,027}{0,023}$	$\frac{3,1-5,9}{3,8}$

Примечание: в числителе минимальные и максимальные значения, в знаменателе – среднее значение.

**Таблица 3.2. Прочностные свойства насыпных глинистых грунтов карьера «Руба» по лабораторным данным (по данным Витебского отдела РУП «Геосервис», 2008)**

ИГЭ	Статистические показатели	Сдвигающие усилия $\tau$ , $10^5$ Па, при нагрузках 1, 2, 3 · $10^5$ Па			Удельное сцепление $c$ , $10^5$ Па	Коэффициент внутреннего трения, tgφ	Угол внутреннего трения φ, град
		$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$			
1	<i>n</i>	10	8	9	—	—	—
	min	0,45	0,50	0,68	—	—	—
	max	0,80	1,08	1,03	—	—	—
	<i>x</i>	0,62	0,68	0,81	0,52	0,093	5
2	<i>n</i>	8	6	6	—	—	—
	min	0,50	0,73	0,75	—	—	—
	max	0,75	1,20	1,43	—	—	—
	<i>x</i>	0,60	0,94	0,98	0,45	0,193	11

**Таблица 3.3. Прочностные свойства насыпных глинистых грунтов карьера «Руба» по результатам полевых испытаний (по данным Витебского отдела РУП «Геосервис», 2008)**

ИГЭ	Статистические показатели	Сдвигающие усилия $\tau$ , $10^5$ Па, при нагрузках 1, 2, 3 · $10^5$ Па			Удельное сцепление $c$ , $10^5$ Па	Коэффициент внутреннего трения, tgφ	Угол внутреннего трения φ, град
		$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$			
1	<i>n</i>	3	3	3	3	3	3
	min	0,33	0,67	0,72	0,18	0,195	11
	max	0,42	0,72	0,83	0,25	0,205	12
	<i>x</i>	0,38	0,70	0,78	0,22	0,202	12
3	<i>n</i>	3	3	3	3	3	3
	min	0,49	0,74	1,05	0,20	0,250	14
	max	0,60	0,88	1,10	0,31	0,280	16
	<i>x</i>	0,54	0,79	1,07	0,27	0,265	15

В химическом составе преобладают  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; потери при прокаливании достигают 24–56% (за счет органической составляющей). Особенностью терриконов является содержание горючих компонентов – углистых сланцев, сростков пород с углем, соединений серы.

Возможность самовозгорания терриконов определяется:

- химическим составом пород (значениями потерь при прокаливании);
- гранулометрическим составом (степенью дробления);
- наличием границ плотных и рыхлых разностей грунтов.

---

Самовозгорание во внешних частях терриконов происходит за счет тепла, выделяющегося при окислении угля. В глубинных частях в восстановительных условиях происходит образование газов –  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  и др. При горении во внутренних частях отвала температуры достигают 800–1200 °С. При этом происходят следующие процессы:

- диссоциация простых солей  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$  с выделением  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ;
- распад силикатов с выделением воды и образованием  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;
- переход аморфных соединений в кристаллические, возникают новообразования (браунмилерит и т.п.).

Со временем, когда прекращается поступление свежих пород, процессы затухают [15].

Перегоревшие грунты – *горельники* – имеют цвет от светло-серого до кирпично-красного (из-за примесей гематита) и черного (в ошлакованных породах). При обжиге в условиях окислительной среды глинистые породы приобретают цвет от оранжевого до кирпично-красного, а в восстановительных условиях появляются серые, коричневые и черные тона. Таким образом, цвет указывает на условия формирования материала. Следствием обжига структурных элементов грунтов терриконов является их спекание и образование преимущественно крупнообломочного материала (преобладают частицы размером более 2 мм).

При сравнении показателей физических и физико-механических свойств отдельных гранулометрических фракций «шахтных» грунтов и природных дресвяно-песчаных грунтов можно заключить, что техногенные грунты характеризуются меньшими значениями «насыпной» плотности (1,17–1,43 г/см<sup>3</sup>; в рыхлом сложении, в основном за счет высокой пористости), более высокой гигроскопической влажностью (1,7–3,1%) и значениями угла естественного откоса (30–35°), близкими к природным разностям соответствующей дисперсности [4].

В массиве сжимаемость перегоревших грунтов уменьшается с глубиной. Модуль деформации грунтов в средней части террикона достигает 40–50 МПа. В целом свойства описываемых грунтов зависят от минерального и гранулометрического состава, степени уплотнения и влажности. При замачивании свойства ухудшаются, причем чем больше тонкодисперсных частиц, тем хуже показатели свойств [17].

В массивах угольных терриконов происходят инженерно-геологические процессы:

- оползни, обрушения, осыпи: могут активизироваться при попадании воды, особенно ливневых осадков, во внутренние части отвала, где находятся раскаленные массы пород, что приводит к газовым выбросам;
- уплотнение техногенных грунтов отвала и его основания под действием гравитационных сил;

■ проявление сдвижения пород в результате подработки территории отвалов подземными горными выработками [7].

Техногенные грунты терриконов получили развитие и на территории Беларуси. К таким образованиям относятся грунты солеотвалов ОАО «Беларуськалий» в Солигорске (рис. 3.2). На этом предприятии в отходы попадают галитовая рыхлая масса и соляно-глинистая пульпа. Из галитовых отходов формируются солеотвалы высотой более 100 м. В их химическом составе присутствуют  $\text{NaCl}$  (91–92%),  $\text{KCl}$  (3–4%),  $\text{MgCl}_2$  (0,02–0,06%),  $\text{MgSO}_4$  (0,1–0,15%),  $\text{CaSO}_4$  (1,1%) и др., на долю нерастворимого остатка приходится 2,5–4% [46].

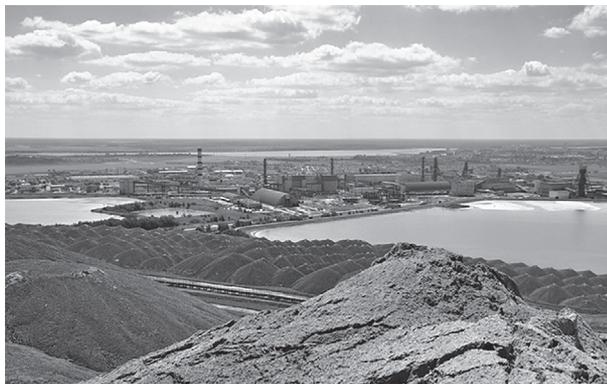


Рис. 3.2. Рудоправление № 1 ОАО «Беларуськалий» с прилегающими к нему (на переднем плане) солеотвалами (<http://vandrouka.by>, 2011)

Отходы представляют собой рыхлую массу с влажностью до 10–16% насыщенного рассола (остаточная влажность, обусловленная технологическим процессом образования). Эта влага в химическом отношении представляет собой хлоридно-натриевый крепкий рассол – рапу с минерализацией 360–375 г/дм<sup>3</sup>.

По механическому составу галитовые отходы сходны со средне- и разнo-зернистыми песками. В их составе содержатся фракции более 1 мм – 1–1,5%; 1–0,5 мм – 33–35%; 0,5–0,25 мм – 28–30%; 0,25–0,1 мм – 15–17%; 0,1–0,005 мм – 13–15%; менее 0,005 мм – 4–5%.

Плотность частиц галитовых техногенных отложений находится в пределах 2,1–2,2 г/см<sup>3</sup> и обусловлена их минеральным составом (галит, сильвин и глинистые минералы). Плотность скелета грунта колеблется в широких пределах: от 1,3–1,4 г/см<sup>3</sup> при пористости 35–40% в верхнем рыхлом покрове до 1,75–1,90 г/см<sup>3</sup> при пористости 12–15% в уплотненных слоях, залегающих на разных глубинах. Следует отметить, что высокая пористость верхних слоев солеотвалов создает благоприятные условия для вертикальной миграции атмосферных осадков в глубь массива. Изучение их фильтрационных свойств

---

в полевых условиях с помощью наливов показало, что величина коэффициента фильтрации техногенных галитовых образований в верхней части массивов превышает 90–100 м/сут [47].

Лабораторные исследования компрессионных свойств свежееотсыпанных солевых отходов под действием приложенных давлений, выполненные Б.А. Богатовым с сотрудниками [46], показали высокие значения модуля осадки и сжимаемости галитовых образований. Экспериментальные работы этих же авторов по изучению деформационного поведения отходов в приборах одноосного сжатия позволили установить, что в техногенных галитовых грунтах значительную долю занимают пластические деформации. В процессе исследований также было установлено, что в основании отвалов в результате дегидрата солевых отходов под действием сил гравитации и уплотнения под собственным весом образуется плотная рассолонепроницаемая зона. Кроме того, для солеотвалов характерны развивающиеся во времени процессы пластической деформации и физико-химические процессы, протекающие в поровом растворе – рост кристаллогидратов при увеличении плотности рапы и изменении температурных условий, частичный переход свободной и рыхлосвязанной воды в химически связанную и др. [46]. Указанные процессы способствуют формированию дифференцированных зон в солеотвалах с различными свойствами, которые представлены в табл. 3.4.

**Техногенные грунты строительных отвалов.** Новое строительство, снос и реконструкция различных зданий и сооружений, прокладка коммуникаций, многочисленные планировочные работы на территории городов приводят к формированию отвалов грунтов, извлекаемых в ходе земляных работ из наземных и подземных горных выработок. Такие отвалы называются строительными. При экскавации, транспортировке и складировании происходит неизбежное нарушение естественного сложения грунтов, что является определяющим фактором формирования их строительных свойств и качеств [17].

Строительные отвалы – это неплановмерно отсыпанные массивы техногенных грунтов. По составу среди них можно выделить две группы:

- сложенные преимущественно природными грунтами, перемещаемыми из строительных котлованов и при планировке местности (содержат до 5% строительного мусора);
- сложенные перемещенными природными грунтами с примесью строительного мусора более 5% и бытовых отходов, из-за особенностей состава по свойствам близкие к свалкам.

Они имеют площадное распространение, связаны, как правило, с развитием городского строительства и занимают различные понижения рельефа (овраги, балки, болота, пруды, поймы и русла рек и т.д.). При этом размеры площадей насыпных грунтов и их мощности определяются природным рельефом. Их состав зависит от состава отсыпаемого строительного мусора и литологии местных или привозных грунтов, перемещаемых в отвал.

Таблица 3.4. Физические и физико-механические свойства солеотвалных разнозернистых песчаных грунтов Солигорского горнопромышленного района [46]

Зоны	Время упрочнения, мес.	Плотность, г/см <sup>3</sup>		Влажность, %	Рассолонасыщение, д.е.	Модуль деформации (компрессия при $p = 0,1-0,2$ МПа), МПа	Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, град	Предел прочности на одноосное сжатие, МПа
		грунта	частиц грунта						
Свежеотсыпанная	—	1,2–1,4	2,16–2,17	9–13	0,09–0,18	0,5–5,0	0	40–60	0
Свежая отфильтрованная	—	1,2–1,4	2,16–2,17	5,5–7,0	0,03–0,09	0,5–5,0	9	40–60	0
Слабоупрочненная	2–12	1,4–1,8	2,16–2,17	2,5–5,5	0,03–0,06	5–100	0,0–0,02	36–38	0,0–0,5
Упрочненная	12	1,8–2,0	2,16–2,17	2,5–5,0	0,03–0,06	100–500	0,2–1,0	34–36	0,5–3,0

---

Техногенные грунты строительных отвалов характеризуются неоднородностью строения, поскольку слагающие их грунты природного происхождения отсыпаются вместе со строительным мусором. Сортировка материала отсутствует. В результате переотложения меняется дисперсность грунтов, очевидно, по двум причинам: привноса более крупного материала и некоторой относительной потери тонкодисперсного пылевато-глинистого материала. Даже если примесь строительных отходов отсутствует, дисперсность может уменьшиться из-за распыления тонкого и легкого материала при разработке и перевозке местного природного грунта, а также возможных эрозионных и суффозионных процессов в отсыпанном массиве [26].

Грунты строительных отвалов сжимаемы при дополнительных нагрузках, их несущая способность низкая. В случае необходимости ведения строительства на таких грунтах используют свайные фундаменты или проводят усиление основания.

Ю.М. Лычко [4] обобщен опыт строительства зданий на насыпных грунтах. Согласно его исследованиям, достаточно эффективным является предварительное уплотнение строительных отвалов. Например, использование тяжелых трамбовок в отдельных случаях позволяет увеличить несущую способность оснований от 0,05–0,1 МПа (в исходном состоянии) до 0,15–0,25 МПа (после уплотнения).

Основными инженерно-геологическими особенностями техногенно переотложенных грунтов строительных отвалов являются следующие:

- неоднородность состава и строения, которая возрастает с увеличением мощности отложений;
- содержание крупнообломочных включений (строительных отходов и пр.) в среднем менее 5%;
- нейтральная и слабощелочная реакция среды; присутствие водорастворимых солей может обуславливать коррозионную активность грунтов к металлическим конструкциям;
- небольшие изменения в минеральном составе по сравнению с природными аналогами, связанные с влиянием процессов выветривания;
- малая дисперсность за счет привноса крупнообломочного материала и (или) «потерь» мелкопылеватых и глинистых частиц;
- низкая коллоидная активность грунтов;
- широкие вариации влажности и степени влажности, при этом низкие значения плотности, повышенная пористость;
- неудовлетворительные физико-механические характеристики: повышенная сжимаемость, пониженная прочность [17].

## 3.2. Намывные грунты

Намывные грунты создаются целенаправленно с использованием гидромеханизированных технологий (рис. 3.3): в понижениях рельефа при подготовке территории к строительству, как намывные сооружения из грунтовых материалов и как запасы строительного материала для устройства насыпей при последующем освоении территорий. В результате возникают планомерно возведенные массивы намывных грунтов, формирование состава, строения и свойств которых определяется тремя группами факторов – геологической, технологической и технической.

Среди *геологических факторов* наибольшее значение имеют особенности состава и структуры исходных грунтов и условия дренированности естественного основания, на которое производится намыв песков. В качестве материала для создания намывных территорий и сооружений наиболее широко применяются пески благодаря их широкому распространению, хорошей водоотдаче и легкой разрабатываемости средствами гидромеханизации. Для намыва обычно используются отложения русловой фации аллювия, однако разработаны технологии использования и глинистых грунтов.

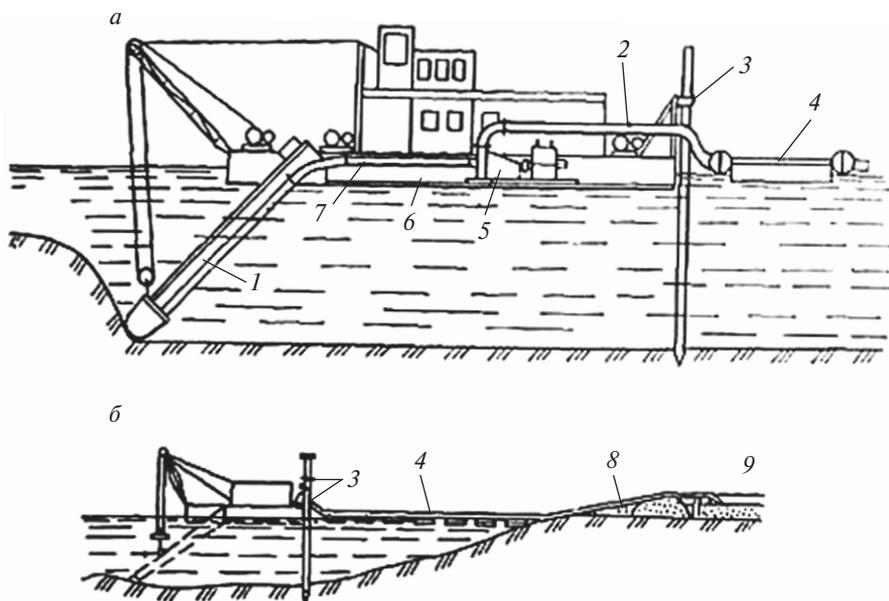


Рис. 3.3. Разработка грунта землесосным снарядом (<http://delostroika.ru>, 2008):

*a* – схема землесосного снаряда; *б* – схема работы; 1 – грунтозаборное устройство; 2 – напорный пульпопровод; 3 – папильонажные сваи; 4 – плавучий пульпопровод; 5 – грунтовой насос; 6 – корпус; 7 – всасывающий трубопровод; 8 – береговой пульпопровод; 9 – зона намыва

Массив намывных грунтов в инженерно-геологическом отношении может рассматриваться как геотехническая или литотехническая система, включающая два взаимодействующих элемента: нижний – литосферный, представленный толщей грунтовых образований, находящейся в естественном залегании, и верхний – технический, представленный намывными грунтами. Фильтрационные, деформационные и прочностные свойства подстилающих грунтов во многом определяют характер и сроки консолидации намывного массива в целом. Поскольку намыв производится обычно на пониженных участках речных долин, грунтовые основания представлены слабо литифицированными разностями.

В Беларуси гидронамыв грунтов в основном применяется на юге страны, в пределах пойменных территорий Белорусского Полесья. В условиях этого региона Е.Ф. Винокуров и А.С. Карамышев [48] выделили шесть типовых схем оснований намывных грунтов (рис. 3.4).

Наибольшее распространение имеют разрезы первого типа, характеризующиеся наличием в отложениях с дневной поверхности пылеватых и мелких песчаных грунтов с очень малой мощностью растительного слоя. Как пра-

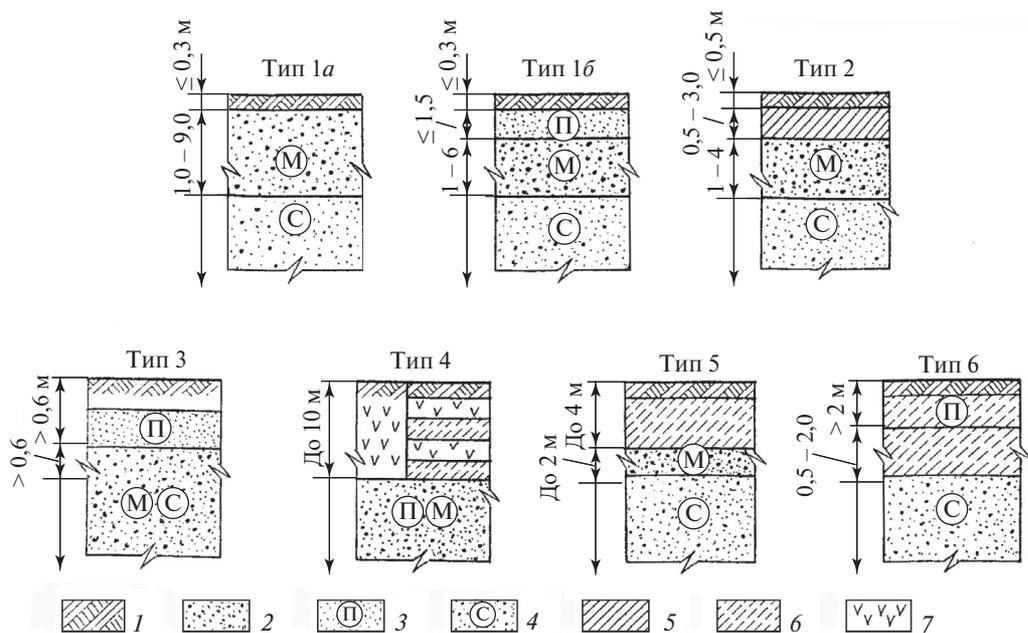


Рис. 3.4. Типовые схемы оснований намывных грунтов в пределах пойменных территорий Белорусского Полесья [48]:

1 – растительный слой; 2 – песок мелкий; 3 – песок пылеватый; 4 – песок средний; 5 – суглинок; 6 – супесь; 7 – торф

---

вило, этот тип разреза характерен для повышенных складок рельефа. Инженерно-строительные особенности грунтов этого типа разреза позволяют осуществлять строительство зданий как на свайных, так и на обычных ленточных фундаментах.

Разрезы второго типа характеризуются залеганием с дневной поверхности глинистых грунтов пластичной и тугопластичной консистенции. Следует отметить, что после намыва эти грунты часто становятся водоупором для инфильтрационных вод, в результате чего возможно образование линз верховодки (при аккумуляции вод в естественных и искусственных понижениях рельефа). При постоянном увлажнении грунтов происходит постепенное изменение их консистенции и соответственно ухудшение прочностных и деформационных свойств.

Разрезы третьего типа характеризуются значительной мощностью растительного слоя, представленного наилком, зачастую со значительным содержанием растительных остатков и различной степенью заторфованности. Этот тип разреза приурочен, как правило, к местным понижениям рельефа, для которого в периоды весеннего половодья и ливневых стоков характерна аккумуляция пылеватых и глинистых мелких частиц. В течение трех лет после намыва происходит значительное уплотнение такого слоя (примерно около 70% общей его осадки). Низкие прочностные и значительные деформационные свойства грунтов этого разреза вынуждают выделить его в особый тип, который следует учитывать при расчете и конструировании фундаментов.

Разрезы четвертого типа имеют незначительное распространение, поэтому, учитывая высокую стоимость работ по выторфовке, рекомендуется участки с такими разрезами использовать для размещения рекреационных зон, различных плоскоплощадных сооружений и т.д.

Для разрезов пятого типа характерно залегание с поверхности большой мощности слоя супесей, зачастую пластичной консистенции. Наблюдения за осадкой специальных марок и построенных на аналогичных грунтах зданий показали значительные деформационные свойства этих грунтов и довольно длительный период протекания осадок во времени. Так же как и для разреза второго типа, эти грунты являются водоупором и могут в новых условиях (после намыва) перейти в текучее состояние.

Разрезы шестого типа имеют наименьшее распространение. Они характеризуются наличием пластичной супеси, залегающей не с поверхности, а под слоем пылеватых песков довольно большой мощности. Как показывает практика, в пределах такого разреза возможно применение типовых ленточных фундаментов.

К числу *технологических факторов*, определяющих строение и состояние намывных грунтов, относятся способ гидровскрышных работ, порядок выемки различных по составу пород, способ выпуска пульпы, а также интенсивность намыва.

При намыве территорий для промышленного и гражданского строительства применяются безэстакадный, низкоопорный, послойно-грунтоопорный и продольно-торцевой бесколдцевый способы.

При безэстакадном способе выпуск пульпы производится из торцов специальных раструбных труб, которые укладываются на поверхность намывного песка (рис. 3.5). В процессе намыва трубы наращиваются или укорачиваются, а намыв производится слоями высотой до 1–1,5 м.

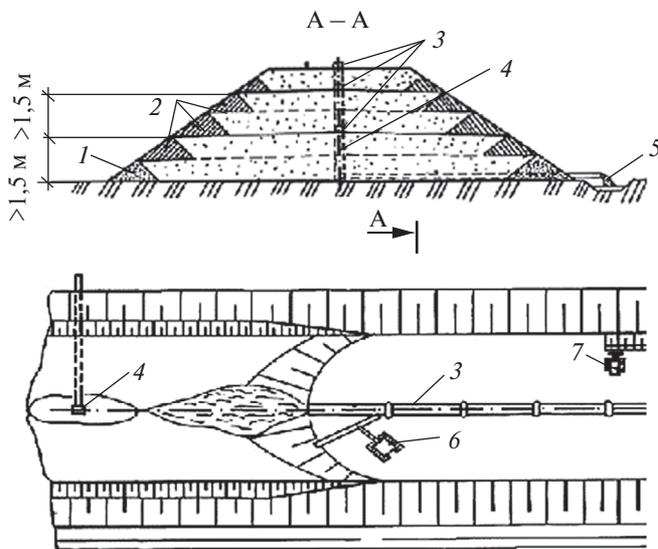


Рис. 3.5. Безэстакадный способ намыва (<https://studfiles.net>, 2015):

1, 2 – первичное и текущее обвалование; 3 – положения намывного пульпопровода; 4 – водосбросный колодец; 5 – водосбросная траншея; 6 – кран-трубоукладчик; 7 – бульдозер

Низкоопорный способ отличается от безэстакадного тем, что трубы укладываются на специальных низких инвентарных опорах высотой 1–1,5 м. Поэтому намыв низкоопорным способом выполняется горизонтальными слоями толщиной до 1,5 м.

При послойно-грунтоопорном способе трубы укладываются на земляные валы высотой до 1,5 м, которые являются опорами (рис. 3.6). Выпуск пульпы производится из торцов труб.

Продольно-торцевой бесколдцевый способ предусматривает сосредоточенный выпуск пульпы из торцов труб, укладываемых на гребне дамбы (рис. 3.7). Поэтому фронт намыва может перемещаться по длине сооружения неограниченно и без разбивки территории на отдельные карты, а осветленная вода выводится через трубчатые водосбросы в дамбе первичного обвалования.

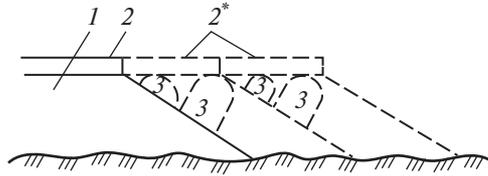


Рис. 3.6. Послойно-грунтоопорный способ намыва (<https://studfiles.net>, 2015):  
1 – насыпь; 2 – намывной пульпопровод; 2\* – участки наращивания пульпопровода; 3 – валы грунта

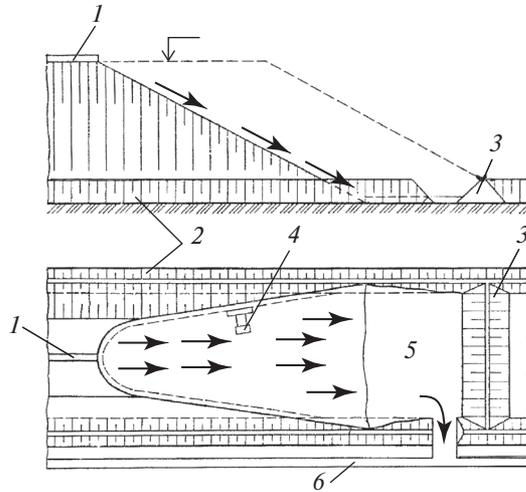


Рис. 3.7. Продольно-торцевой бесколдцевый способ намыва (<https://studfiles.net>, 2015):  
1 – намывной пульпопровод; 2 – первичное обвалование; 3 – перемычка; 4 – бульдозер; 5 – прудок-отстойник;  
6 – водосбросная канава

По мере разработки толщи из нескольких литологических разностей в намывном массиве чередуются слои, отличающиеся по составу и свойствам. Для создания массива с определенным строением варьируют высоту расположения пульпопровода над землей (на опорах или эстакадах), применяют сосредоточенный или рассредоточенный (одновременно из многих отверстий) выпуск пульпы, а также разные варианты перемещения фронта намыва (параллельное, веерное и др.). Состояние намывного массива определяется также способом намыва (подводный или надводный) и формирования ограждающих дамб (на полную высоту или поэтапного наращивания по мере заполнения).

Характер отложения материала и его качество во многом определяются консистенцией гидросмеси, расходом пульпы и интенсивностью намыва. Исследования, проведенные В.А. Мелентьевым и др. [49], И.Я. Русиновым [50] и др., показали, что с увеличением весовой консистенции пульпы плотность скелета грунта уменьшается (рис. 3.8). Более высокое расположение кривой

для неоднородных грунтов, очевидно, обусловлено разнородностью фракций, способствующей увеличению плотности.

Опыты [50] с однородными песчаными грунтами при диапазоне изменения удельных расходов пульпы в пределах 1–27 л/с · м и при постоянных значениях консистенции порядка 12% показали, что увеличение удельного расхода на плотность намываемого грунта существенно влияет только при расходах в пределах до 10–15 л/с · м (рис. 3.9). Путем регулирования удельных расходов и консистенции пульпы можно изменять содержание пылеватых и глинистых частиц в намывном грунте. При средних значениях консистенции порядка 10–15% и ниже, а также при удельных расходах около 50 л/с · м можно добиться почти полного отмыва этих частиц. Однако это вряд ли целесообразно, ибо при правильной технологии производства работ по намыву пылеватые и глинистые частицы в определенном количестве способствуют повышению плотности намывных грунтов.

Анализ процесса намыва свидетельствует о том, что при больших (более 50 л/с · м) удельных расходах намывной грунт представляет собой сравнительно однородную массу, а при малых расходах (1,5–2 л/с · м) он слоистый. Это объясняется режимом перемещения твердой составляющей пульпы. Поэтому для получения однородных намывных грунтов рекомендуется производить намыв при удельном расходе более 20 л/с · м и консистенции не более 20%.

Многочисленные исследования показали также, что существенное влияние на характер уплотнения намываемого грунта оказывает интенсивность намыва, характеризуемая высотой слоя грунта, намываемого в течение суток. С увеличением интенсивности намыва плотность намывной грунтовой толщи уменьшается. Допустимые величины интенсивности намыва, рекомендуемые П.Д. Лобасовым [26], приведены в табл. 3.5.

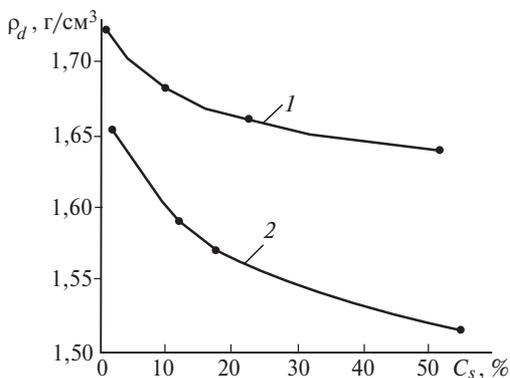


Рис. 3.8. Влияние консистенции пульпы на плотность намывного грунта [48]:

1 — для неоднородного песка; 2 — для однородного песка

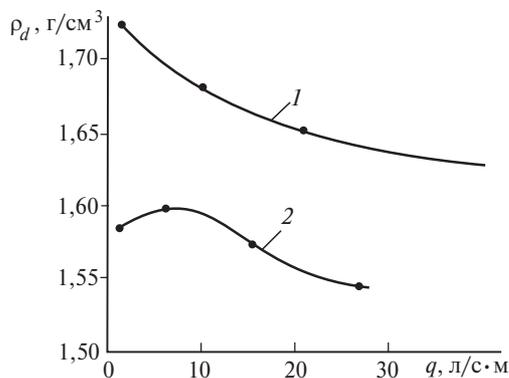


Рис. 3.9. Влияние удельного расхода пульпы на плотность намывного грунта [48]:

1 — для неоднородного песка; 2 — для однородного песка

Таблица 3.5. Рекомендуемая интенсивность намыва, см/сут [51]

Грунты	Категория территории		
	I	II	III
Супесь	10–15	15–20	20–25
Пылевато-илистый	15–20	20–25	Не ограничивается
Песчаный	20–25	–	

При формировании откосов намыва помимо удельного расхода и консистенции пульпы определяющее значение имеет и гранулометрический состав карьерного грунта. Однако необходимо отметить, что все исследования влияния технологии намывных работ на качество уложенного грунта производились применительно к намыву гидротехнических и дорожных сооружений. Процесс намыва грунта под промышленные и гражданские сооружения отличается специфическими особенностями, связанными с возможностями намыва при больших удельных расходах пульпы и откосах значительной протяженности.

Наиболее важным *техническим фактором*, оказывающим влияние на состояние намывных грунтов, является конструкция сооружения. В частности, эффективным способом ускорения консолидации тонкодисперсных намывных грунтов в массиве, особенно в его внутренних зонах, служит создание дренажных элементов (призм, линз и подушек) из хорошо фильтрующих грунтов, которые тем самым включаются в техногенный массив и изменяют его строение.

Состав намывных грунтов обычно отличается от гранулометрического состава карьерного грунта, изменяясь как по простиранию, так и по разрезу намывной толщи из-за фракционирования грунта при гидронамыве, которое характеризуется отложением более крупных фракций у места выпуска пульпы и уменьшением крупности частиц по мере удаления от выпуска. Степень фракционирования, а следовательно, структура и текстура намывных грунтов зависят от технологии работ и гидравлических свойств потока пульпы, размера сооружения и состава исходного материала. Так, при неправильной схеме намыва могут образоваться зоны, где откладываются пылевато-глинистые фракции, что, в свою очередь, приводит к неоднородности состава намывного грунта.

Определенное значение имеют форма и характер поверхности частиц: с улучшением окатанности растет плотность намывного песка. Однако следует учитывать, что окатанность способна увеличиваться в процессе самого намыва. При формировании намывных грунтов, кроме того, складываются благоприятные условия для выноса из них органических остатков, присутствующих в глинистых и заторфованных разностях аллювия, что положительно влияет на свойства техногенного грунта [17].

---

Физические и физико-механические свойства намывных песчаных грунтов формируются в результате их уплотнения и упрочнения во времени и во многом определяются составом и строением намывного материала. Результаты исследований И.В. Дудлера и других авторов показали, что уплотнение намывных песчаных грунтов завершается в течение 1–2, реже 3–4 мес. Однако в результате возникновения в них со временем новых структурных связей из-за цементации частиц аморфными кремнистыми и железистыми пленками рост прочности продолжается в течение 10–12 лет [16].

В общем случае механизм преобразования намывных песчаных грунтов представляется в следующем виде [7]. В процессе намыва осажденные из потока пульпы песчаные частицы, контактируя друг с другом, образуют первоначальный рыхлый осадок. В дальнейшем при воздействии воды и собственного веса происходят сдвиги и перемещения частиц, вызывающие их сближение. Имея большую плотность, частицы постепенно отжимают воду, что приводит к уплотнению осадка. По мере поступления новых порций песка образуется все более нарастающий по толщине слой, который своей массой уплотняет залегающий ниже осадок. Дренажное водозаборное устройство также способствует еще большему уплотнению намывного массива. Этот процесс интенсивно продолжается до почти полного удаления жидкости. В связи с тем что водоотдача зависит от гранулометрического состава уплотняемого материала, мелкие пески уплотняются медленнее, чем крупные. Так как уплотнение песков определяется не только водоотдачей, то процесс продолжается и после практически полного удаления воды, т.е. после того, как влажность их приобретет устойчивый характер. Описанный процесс приближается к литогенетическим преобразованиям природных осадков при гравитационном уплотнении.

Упрочнение намывных песков определяется физико-химическими процессами, протекающими во времени. Одной из минеральных составляющих песков является кварц. Кварцевые частицы в определенных физико-химических условиях среды могут слипаться за счет взаимодействия кремнегеля, способствуя тем самым упрочнению породы во времени. Наибольшее проявление действия коллоидных пленок кремнекислоты достигается в присутствии электролитов, особенно тяжелых металлов. Клеящая способность их сохраняется в широком диапазоне влажности. При уменьшении влажности в процессе дегидратации коллоидные пленки повышают свою жесткость. Источником кремнезема служат и воды, принимающие участие в образовании песков. Вода способствует образованию кремнегеля, разрушению полевых шпатов и образованию глинистых соединений, участвующих в процессе цементации. Воды несут кремнегель и гидроокислы железа, которые затем сорбируются песчаными частицами, образуя цементирующие пленки. При переменном режиме обводнения толщи пленки уплотняются, что приводит к появлению структурных связей и упрочнению.

---

Источником формирования цемента в песчаных грунтах также могут служить поверхностные пленки, которые являются одной из наиболее распространенных форм вторичных минеральных образований. В химическом составе пленок преобладают окись кремния, окись алюминия и окислы железа, реже карбонаты. Пылеватые пески характеризуются пленками глинистого или смешанного состава.

Образованию железистых пленок, представленных гидроокислами железа, сопутствуют условия, при которых циркулирующие в песке воды содержат подвижные соединения железа при одновременном присутствии кремнезема и кальция. При инфильтрации поверхностных вод, обогащенных кислыми продуктами распада органического вещества, например когда пески залегают совместно с торфяниками, железистые пленки могут полностью растворяться и уноситься водами. Из железосодержащих вод на участках щелочных геохимических барьеров выпадают гелеобразные гидроокислы железа, способствующие цементации.

Глинистые оболочки имеют вид корочек, пятен, налетов белого, серого и желтого цвета. Редко встречаются случаи, когда зерна имеют сплошную глинистую пленку. Образование пленок происходит в невыщелоченных песках, когда грунтовые воды имеют невысокую концентрацию рН. Схватывание глинистого материала осуществляется за счет ионно-электростатических связей.

Оболочки смешанного характера имеют железисто-глинистый, глинисто-карбонатный и железисто-карбонатный состав. В этом случае цементация может происходить в результате электростатического притяжения поверхностью песчинок растворимых в воде солей, полуторных окислов и кремнезема, адсорбции проникающих в толщу песка коллоидных растворов и суспензий и ортокинетической коагуляции.

Образование пленок разного состава на зернах песка не всегда способствует цементации, так как, обволакивая зерна, они тормозят или вообще исключают возможность взаимодействия его с другой частицей за счет кремнегеля. Будучи в некоторых случаях непрочным соединением, при изменении условий среды такая пленка легко разрушается.

В районах распространения многолетнемерзлых пород намывные грунты имеют ряд особенностей:

- они подстилаются толщей многолетнемерзлых грунтов, верхние слои которых в период намыва оттаивают;
- промерзание оттаявших подстилающих и талых намывных грунтов происходит в течение длительного времени;
- гидрогеологические условия и температуры грунтов формируются под влиянием водоемов и водотоков.

Среди рассматриваемых грунтов в инженерно-геологическом отношении наиболее изученными являются грунты, слагающие намывные территории

либо предназначенные для возведения инженерных сооружений, а также собственно намывные сооружения.

*Массивы намывных грунтов* сформированы во многих городах Беларуси – Бресте, Гомеле, Добруше, Рогачеве, Могилеве и др. Они создавались с целью поднятия отметок территорий, имеющих затопляемые понижения в рельефе, и для образования за счет акваторий площадок, пригодных для строительства (рис. 3.10).



Рис. 3.10. Строительство многоэтажных жилых домов на намывных песках в микрорайоне «Мельников луг» Гомеля [26]

Комплексные полевые и лабораторные исследования намывных песков в Бресте и Гомеле в 24 опытных точках [48] позволяют охарактеризовать особенности состава и свойств этих техногенных образований. В частности, авторами исследований было установлено, что гранулометрический состав намывных грунтов различается незначительно. В основном выделяются пески средней крупности и мелкие, пески пылеватые и крупные встречаются эпизодически.

Эксперименты показали также, что свойства намывных отложений весьма изменчивы (табл. 3.6) и зависят от глубины залегания и возраста намыва. Так, плотность скелета грунта с глубиной изменяется от 1,5–1,6 до 1,7–1,8 г/см<sup>3</sup>, а влажность песков увеличивается с 6–15% в пределах метровой толщи до 12–17% на глубине 1,5–2 м (рис. 3.11).

Кроме того, было установлено, что уплотнение намывных песчаных массивов небольшой мощности практически заканчивается вскоре после прекращения намыва. Плотность скелета грунта увеличивается в течение первого месяца после намыва, в дальнейшем, в течение года, плотность увеличивается незначительно и не изменяется в последующие годы. Влажность песков понижается по мере уплотнения намывных песчаных массивов и стабилизируется примерно к концу первого месяца после намыва.

Таблица 3.6. Физические свойства намывных песков Бреста и Гомеля [48]

Песок	Влажность			Плотность			Плотность скелета грунта			Коэффициент пористости		
	количество определений	влажность $W, \%$	коэффициент вариации	количество определений	плотность $\rho, \text{г/см}^3$	коэффициент вариации	количество определений	плотность скелета грунта $\rho_d, \text{г/см}^3$	коэффициент вариации	количество определений	коэффициент пористости $e, \text{д.е.}$	коэффициент вариации
Средний	110	4,80	0,15	150	1,74	0,17	140	1,68	0,019	110	0,56	0,06
Мелкий	280	5,40	0,25	410	1,70	0,015	390	1,60	0,016	280	0,63	0,04
Пылеватый	8	11,5	0,84	8	1,86	0,019	8	1,70	0,019	8	0,59	0,05

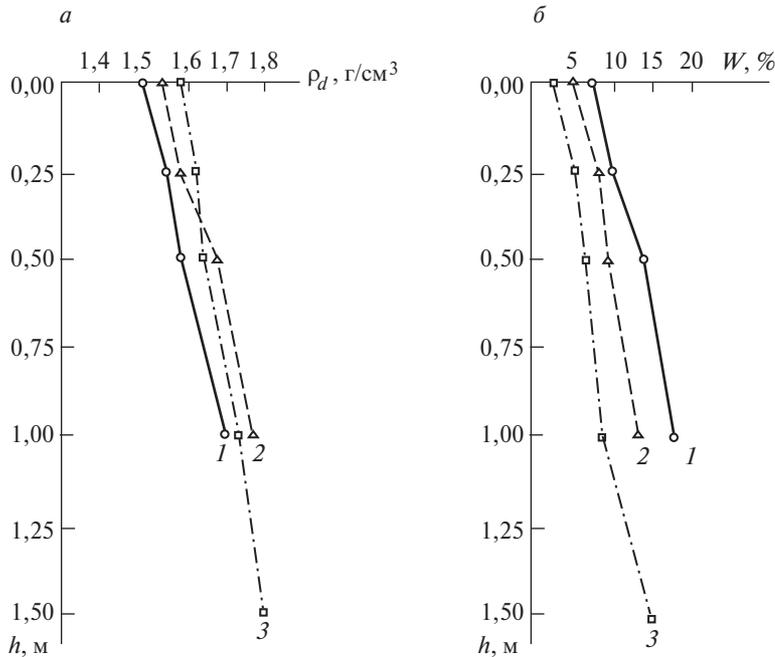


Рис. 3.11. Изменение плотности скелета грунта (а) и влажности (б) с глубиной [48]: цифрами 1, 2, 3 указаны направления в шурфе

Как показали эксперименты, фильтрационные свойства намывных грунтов изменяются вдоль пляжа намыва. По мере удаления от места выпуска пульпы коэффициент фильтрации уменьшается. Кроме того, фильтрационная способность намывных песчаных оснований в горизонтальном и верти-

---

кальном направлениях различна, что указывает на анизотропность намывного грунта.

Выполненное динамическое зондирование исследуемых грунтовых массивов позволило обнаружить эффект упрочнения намывного грунта с течением времени и условно выделить в намывной толще три зоны — верхнюю толщиной 1–1,5 м с возрастающими с глубиной механическими свойствами, среднюю с практически постоянными свойствами (толщина которой зависит от общей толщи намыва) и нижнюю толщиной около 0,5–1 м с убывающими с глубиной механическими свойствами, если подстилающая толща представлена слабыми грунтами.

Пониженная прочность грунта в верхней зоне, по мнению авторов исследований, объясняется воздействием факторов физического выветривания, а возрастание прочности с глубиной связано с влиянием объемной массы вышележащего грунта, играющего роль пригрузки при уплотнении.

Пониженное значение прочности грунта в нижней зоне обусловлено наличием слабых подстилающих грунтов, которые нередко уплотняются под массой намывной толщи в течение значительного периода времени.

Штамповые испытания позволили установить, что для песков средней крупности и средней плотности при коэффициенте пористости  $e = 0,61–0,69$  модуль деформации  $E$  изменяется от 19 до 21,4 МПа; для песков средней крупности плотных при  $e = 0,5–0,57$   $E = 19,4–25$  МПа; для мелких песков при  $e = 0,6–0,73$   $E = 16,1–19,5$  МПа.

Результаты компрессионных испытаний, выполненных при нагружении образцов в пределах от природной нагрузки до 0,4 МПа ступенями по 0,05 МПа, свидетельствуют о том, что четкой связи между величинами модулей деформации и характером наслоения песков не наблюдается. Однако намывные грунты обладают различной сжимаемостью в вертикальном и горизонтальном направлениях, т.е. являются трансверсально-изотропной средой. Наибольшее значение модуля деформации в вертикальном направлении — 75 МПа, минимальное — 6 МПа при среднем значении 31 МПа. Коэффициент сжимаемости равен в среднем 0,007 см<sup>2</sup>/кгс. Таким образом, по этому параметру намывные пески относятся к среднесжимаемым грунтам.

Следует отметить, что значения модулей деформации по глубине неодинаковы. В намывных слоях, расположенных у поверхности поймы, они резко падают, что объясняется явлением аккумуляции пылеватых и глинистых частиц при намыве в эрозионных понижениях рельефа поймы, снижением скорости потока пульпы из-за шероховатости поверхности и значительной сжимаемостью подстилающих намывную толщу грунтов.

Анализ результатов показал, что для намывных песчаных грунтов при давлении до 0,7–0,8 МПа наблюдается практически линейная зависимость осадки от давления  $S = f(p)$ . Значение модуля деформации для грунта в возрасте порядка 2,5 года составляет в основном 37–60 МПа.

---

Сдвиговые испытания намывных песков показали, что угол внутреннего трения этих грунтов практически остается неизменным во времени, в то время как сопротивление сдвигу намывных грунтов со временем изменяется. В частности, было установлено, что через 1 год после намыва сопротивление сдвигу равнялось 0,181 МПа, а через 4 года – 0,197 МПа.

По результатам комплексных испытаний авторы исследований сделали вывод о том, что если стабилизация физических параметров намывных грунтов происходит в течение первого года после окончания намыва, то деформационно-прочностные показатели приобретают стабилизированное значение через 5–6 лет. Причем в первые 2–3 года наблюдается значительное упрочнение песков. В последующие же 3 года рост упрочнения грунтов снижается, после чего наступает стабилизация.

Кроме населенных пунктов гидромеханизированные технологии применяются при строительстве *плотин* на равнинных реках, а также *оградительных дамб* разного назначения. На территории бывшего СССР в 1950–1970-е гг. около 25% всех возводимых земляных плотин сооружалось намывным способом [17].

Согласно строительным нормам и правилам, намывные плотины по строению подразделяются на однородные, неоднородные и комбинированные (табл. 3.7). Технологии намыва этих земляных сооружений несколько различаются (рис. 3.12). Однородные плотины возводятся из грунтовых материалов одной дисперсности и намываются, как правило, из песка, супеси, суглинка, реже гравелистого песка (при содержании гравия менее 10%). Неоднородные плотины намываются из разнозернистых песчаных и гравийных грунтов с противofильтрационным ядром в центральной части, которое образуется при намыве из глинистых, пылеватых и мелкопесчаных фракций. Комбинированные плотины наряду с намывными содержат также насыпные, металлические либо железобетонные конструктивные элементы. По поперечному профилю, согласно Мелентьеву и др. [49], выделяют следующие типы плотин (рис. 3.13):

- однородная песчаная (или супесчаная) плотина с принудительными откосами (рис. 3.13, а);
- однородная плотина с одним свободным откосом (при неограниченном растекании пульпы) (рис. 3.13, б);
- неоднородная плотина с супесчано-суглинистой центральной ядерной зоной (рис. 3.13, в);
- однородная плотина с металлической или железобетонной диафрагмой (рис. 3.13, г);
- плотина с грунтовым противofильтрационным экраном (рис. 3.13, д);
- плотина с упорными каменными банкетам (рис. 3.13, е).

Таблица 3.7. Подразделение намывных плотин с учетом слагающих грунтов и способов возведения (СНиП 2.06.05-84, 1991)

Вид плотины		Грунты тела плотины	Способ возведения плотины
Однородная	С принудительно формируемыми откосами	Пески, супеси, суглинки (в том числе лессовидные)	Двусторонний намыв с дамбами обвалования на откосах
	Со свободно формируемыми откосами – верховым или обоими	Пески, гравийные (дресвяные)	Односторонний намыв с дамбами обвалования на низовом откосе и центральный намыв без дамб обвалования
	Узкопрофильная		Пионерный намыв с выпуском пульпы из торца трубы и непрерывным устройством обвалования по откосам
Неоднородная	С ядром	Гравийные (дресвяные), галечниковые (щебенистые) с содержанием песчаных и глинистых фракций	Двусторонний намыв с дамбами обвалования на откосах и отстойным прудом в центральной части плотины
	С центральной зоной	Гравийные (дресвяные), галечниковые (щебенистые) или песчаные разнотернистые, содержащие мелкозернистые фракции	
Комбинированная	С насыпным ядром из глинистого грунта и намывными боковыми зонами	Гравийные (дресвяные), галечниковые (щебенистые) или песчаные	Двусторонний намыв без пруда
	С насыпными банкетами из горной массы и намывной однородной центральной зоной		

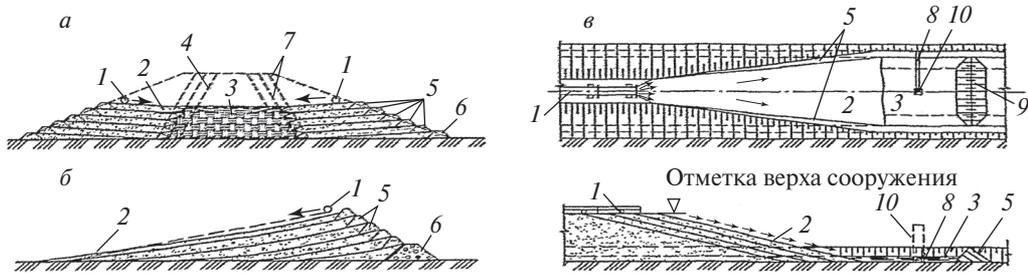


Рис. 3.12. Основные схемы возведения намывных плотин (СНиП 2.06.05–84, 1991):

*a* – двусторонний намыв неоднородной плотины с ядром; *б* – односторонний намыв однородной плотины с верховым откосом, формируемым при свободном растекании пульпы; *в* – намыв узкопрофильной плотины; 1 – распределительный пульпопровод; 2 – откос намыва; 3 – отстойный пруд; 4 – граница ядра; 5 – дамба попутного обвалования; 6 – дамба первичного обвалования; 7 – граница прудка; 8 – водоотводящая труба; 9 – временная перемычка; 10 – водосбросный колодец

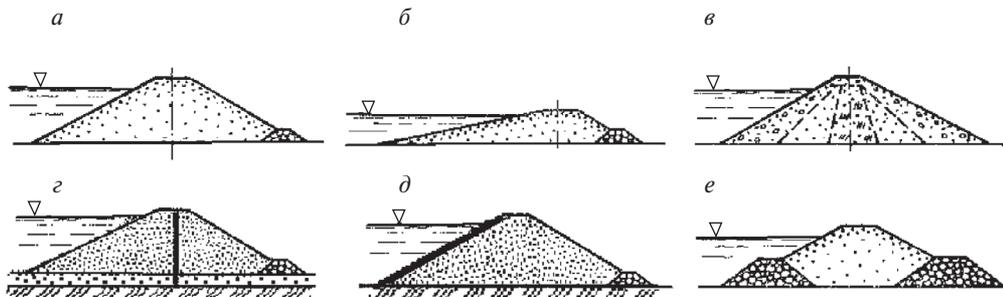


Рис. 3.13. Типы намывных плотин [49]:

*a* – *e* – описание дано в тексте

Для создания однородных песчаных плотин намываемый грунт должен содержать глинистых частиц 0–10%, пылеватых – 0–50%, песчаных – 50–100%, гравийно-галечных – менее 50%. Для грунтов ядерной зоны, согласно рекомендациям Бюро мелиорации США, граничные значения содержания фракций следующие: частиц размером менее 0,005 мм должно быть 0–30%, 0,005–0,05 мм – 25–60%, 0,05–1 мм – 10–75%.

Вследствие изменения влекущей силы потока вдоль откоса по его длине, т.е. длине пляжа намыва, происходит фракционирование материала. Для надводного намыва средние уклоны откоса  $i_{cp}$  определяются размером частиц грунта, в частности значением их диаметра, меньше которого в грунте содержится 50% по массе частиц  $d_{50}$  [17] (табл. 3.8).

Характерной особенностью отложений грунта, образовавшегося в результате намыва, является слоистая структура, которая формируется при небольшой интенсивности намыва, когда частицы грунта успевают избирательно

отложиться на откосе намыва. При большой скорости наращивания частицы грунта укладываются хаотично. В случае слоистого строения намывного массива отмечается различие величин показателей фильтрационных свойств в продольном и нормальном относительно напластования направлениях.

Таблица 3.8. Зависимость среднего уклона откоса от диаметра частиц

Грунт	$d_{50}$	$i_{cp} = H/L$
Песок мелкий	0,2	0,020–0,030
Песок средний	0,5	0,025–0,035
Песок крупный	1,0	0,030–0,040
Гравелистый	5,0	0,040–0,060
Гравийно-галечниковый	10,0	0,045–0,070

Намывные несвязные песчаные и гравийные грунты практически сразу после прекращения процесса надводного намыва приобретают соответствующие проектные величины плотности скелета и влажности. Для этих грунтов в зависимости от гранулометрического состава значения угла внутреннего трения изменяются от 24 до 40° [17].

### Вопросы для самоконтроля

1. Что понимают под планомерно отсыпанными техногенными грунтами?
2. Чем определяются свойства насыпных грунтов?
3. Что такое оптимальные грунтовые смеси, из чего они состоят?
4. В чем отличие техногенно переотложенных грунтов от техногенно образованных?
5. Как делятся отвалы в зависимости от способа доставки вскрышных пород?
6. За счет чего формируются техногенные грунты отвалов открытой разработки полезных ископаемых?
7. Что необходимо учитывать при оценке свойств отвалов?
8. Как формируются техногенные грунты терриконов и чем они представлены?
9. Что такое горельники, каковы их особенности?
10. Где на территории Беларуси получили развитие техногенные грунты терриконов? Дайте им краткую характеристику.
11. В чем специфика техногенных грунтов строительных отвалов?
12. Как и для каких целей создаются массивы намывных грунтов?
13. Какими группами факторов определяется состав, строение и свойства намывных грунтов? Кратко охарактеризуйте их.
14. Где на территории Беларуси получили развитие намывные грунты? Охарактеризуйте существующие типовые схемы их оснований.

- 
15. Какие способы применяются при намыве территорий для промышленного и гражданского строительства, в чем их особенности?
  16. Чем определяются характер отложения намываемого материала и его качество?
  17. В результате чего формируются физические и физико-механические свойства намывных песчаных грунтов и чем они определяются?
  18. Каков механизм преобразования намывных песчаных грунтов, какими процессами определяется их упрочнение?
  19. На основе результатов комплексных исследований намывных грунтов в Бресте и Гомеле охарактеризуйте особенности их состава и свойств.
  20. На какие виды (по строению) и типы (по поперечному профилю) подразделяют намывные плотины?
  21. Что такое фракционирование материала при намыве грунта и чем оно обусловлено?

## Характеристика техногенных грунтов, созданных как отходы хозяйственной деятельности человека

---

### 4.1. Насыпные промышленные грунты

Насыпные промышленные грунты представлены золами, золошлаками, шлаками, фосфогипсом, лигнином и другими техногенными образованиями.

**Зола сухого удаления (зола уноса) и золошлаки.** Зола сухого удаления и золошлаки – продукты сжигания твердого топлива, составляют значительный объем отходов теплоэнергетического производства. В настоящее время в Беларуси твердое топливо используется семью мини-ТЭЦ и более 3000 котлов. В установках для сжигания обычно присутствуют три фракции золы: зольный остаток (подовая зола), зола-унос из циклонов, зола-унос из фильтров. К зольным относятся частицы размером менее 0,15 мм. Частицы большего размера относятся к шлаковому песку и щебню.

Зола наиболее дисперсны и однородны по составу, часть из них обладает гидравлической активностью и используется в качестве добавок к вяжущим или даже самостоятельного вяжущего низких марок. Минеральный состав, дисперсность и свойства зол зависят от состава сжигаемого топлива, технологии сжигания и метода улавливания. По дисперсности более однородны зола от сжигания горючих сланцев и каменного угля, менее однородны зола бурых углей, торфа и древесины. В целом в золах преобладают пылеватые и тонкопесчаные частицы, однако в электрофильтровых золах содержание частиц мельче 1 мкм составляет 25–50%, иногда до 94%, а в циклонных – всего 1–3%, в результате чего последние имеют заметно меньшую удельную поверхность. Помимо клинкерных минералов (силикатов, алюминатов, алюмоферритов и др.), составляющих до 30–50% состава активных зол, негашеной извести, ангидрита и гипса в золах присутствует кварц, карбонаты, свободный кремнезем и ряд примесей. Золошлаки насыщены также выщелачиваемыми веществами – солями, металлами, серой и др. [17].

Показатели свойств зол и золошлаковых смесей также отличаются в зависимости от вида топлива и режима сжигания. Плотность твердой компоненты золошлаков изменяется от 2–2,3 до 2,4–2,6 г/см<sup>3</sup>. Средние значения плотности скелета у них близки к 0,8 г/см<sup>3</sup>. Показатели сопротивления сдвигу

материала, образованного при сжигании древесины, торфа и угля, выше, чем у антрацитовых смесей. Эти техногенные образования обладают малой механической прочностью и относятся к среднесжимаемым грунтам. Их сравнительно быстрая начальная осадка и малые упругие деформации при компрессионных испытаниях объясняются не только уменьшением пористости, но и разрушением отдельных частиц. Средние показатели сцепления составляют 0,013–0,017 МПа, модуля деформации – 4,3–7,4 МПа, угла внутреннего трения – 27–34°. При уплотнении трамбовкой или укаткой их прочностные свойства повышаются [13].

**Металлургические шлаки.** Metallургические шлаки – это легкоплавкие силикатные материалы, которые получают в виде отходов при выплавке металлов из руд. Они образуются в виде расплава различных оксидов в процессе выплавки, рафинирования и переплавки металлов и их сплавов. В зависимости от процесса, при котором получают шлаки (мартеновские, конверторные, электросталеплавильные, ваграночные и др.), они различаются по химическому составу, температуре и вязкости в момент образования и выпуска, газонасыщенности и другим свойствам. Обладая меньшими по сравнению с металлами плотностью и текучестью, шлаковый расплав располагается над жидким металлом, что и позволяет отделять шлак от металла в процессе плавки.

Шлаки содержат до 95% окислов Ca, Si и Al. Присутствие CaO и в особенности  $Al_2O_3$  придает шлаку гидравлические свойства, повышенное же содержание  $SiO_2$  снижает их. Другие соединения – FeO, MgO, MnO, CaS, MnS – имеются в небольшом количестве, но могут оказывать заметное влияние на свойство шлаков. По соотношению содержания  $Al_2O_3$  к  $SiO_2$  шлаки характеризуют условным модулем активности  $M_a$  (при  $M_a > 0,25$  шлаки считаются активными), а по соотношению основных окислов (CaO, MgO, FeO, MnO) к кислотным ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ) – модулем основности ( $M_o$ ). Доменные шлаки при модуле основности  $M_o^d > 1$  являются основными, при  $M_o^d = 1$  – нейтральными, а при  $M_o^d < 1$  – кислыми; сталеплавильные шлаки делятся на низкоосновные ( $M_o^{ст} < 1,6$ ), среднеосновные ( $M_o^{ст} = 1,6–2,5$ ) и высокоосновные ( $M_o^{ст} > 2,5$ ). Большинство металлургических шлаков имеют модуль основности  $M_o = 0,7–1,6$ . Наиболее устойчивы кислые шлаки. Основные медленно охлаждающиеся шлаки обычно способны к самостоятельному распаду, выражающемуся в растрескивании шлаковых глыб и частичном рассыпании в порошок.

В Беларуси металлургические шлаки, складываемые в отвалы, не получили широкого распространения. Представлены они главным образом электросталеплавильными шлаками черной металлургии (Белорусский металлургический завод в Жлобине). В химическом составе этих шлаков присутствуют, %:

CaO – 52,3, SiO<sub>2</sub> – 22,4, MgO – 7,9, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 7,4, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4,8, MnO – 2,0, TiO<sub>2</sub> – 0,4, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,4, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,23, C – 0,13, S – 0,1. Их основность составляет немногим более 2,5.

При естественном охлаждении шлаки представляют собой кристаллические камнеподобные образования (рис. 4.1). При охлаждении и затвердевании в них образуются минералы, среди которых преобладают силикаты, присутствуют алюминаты, алюмосиликаты и сульфиды. Их основной фазовой составляющей является 2CaO · SiO<sub>2</sub>.



Рис. 4.1. Отвалы шлака Белорусского металлургического завода (<http://news.21.by>, 2011)

При остывании и длительном хранении в отвале шлаки подвергаются физическому и химическому выветриванию. Их физическое выветривание приводит к образованию крупно- и мелкообломочного материала. Химическое выветривание шлаков и скорость протекающих процессов определяются их составом. Различают пять видов распада шлаков: силикатный, известковистый, магнезиальный, марганцевый и железистый. Первый из них характерен преимущественно для доменных шлаков, остальные четыре – для сталеплавильных.

Доменные шлаки подвержены силикатному распаду вследствие модификационных переходов и превращений 2CaO · SiO<sub>2</sub>, сопровождающихся увеличением объема на 10–12%. Этот распад шлаков в основном заканчивается за 2–3 месяца нахождения в отвале.

Известковистый и магнезиальный распад шлаков связан с гидратацией включений свободных оксидов кальция и магния при воздействии атмосферных осадков и колебаний температуры воздуха. Эти процессы приводят к увеличению объема и вызывают «набухание» шлаков на 18–20%.

Продолжительность протекающих процессов зависит от состава шлаков, прочности структуры, условий гидратации и может колебаться от 2–3 месяцев до 10–12 лет.

Марганцевый и железистый распад происходит в результате взаимодействия закисей марганца и железа с сульфидной серой и образования сульфидов этих металлов, которые во влажной среде переходят в гидраты, что сопровождается увеличением объема на 24 и 38% соответственно и способствует «набуханию» шлака. В результате процессов химического преобразования исходных продуктов шлака образуются новые минералы, такие как гидросиликаты, гидроалюминаты, гидроферриты, портландит, брусит, карбонаты и др. [17].

В соответствии с ГОСТ 25100-2011 сталеплавильные шлаки являются щебенистыми грунтами, содержание в них частиц крупнее 10 мм превышает 50%. В куске они обладают достаточно высокой прочностью, характерной для скальных грунтов природного происхождения; их свойства зависят от структурно-текстурных особенностей. В массиве шлаки хорошо поддаются уплотнению, приобретая при этом высокую прочность и малую сжимаемость. Плотность сталеплавильных шлаков составляет 1,87–2,05 г/см<sup>3</sup>, модуль деформации – 30–33 МПа, угол внутреннего трения – 25–27°, величина сцепления колеблется в пределах от 0,020 до 0,035 МПа [4; 13].

К классу насыпных техногенных грунтов относятся некоторые шламы, которые складировались в сухом состоянии, в том числе фосфогипс и лигнин.

**Фосфогипс.** Фосфогипс – продукт отходов химической промышленности, образуется при производстве экстракционной фосфорной кислоты сложных фосфорсодержащих удобрений из апатита и фосфорита. В Беларуси его отвалы начали формироваться с 1969 г., когда ОАО «Гомельский химический завод» освоил выпуск фосфорных удобрений на основе апатитовых концентратов (с 2008 г. с добавлением фосфоритовых концентратов). За более чем сорокапятилетний срок накопилось около 19 млн т фосфогипса, сконцентрированного на площади 89 га (рис. 4.2). Ежегодные его накопления составляют более 350 тыс. т [52].

В пересчете на сухое вещество фосфогипс состоит на 97% из сульфата кальция (CaSO<sub>4</sub>). В его химический состав входят CaO, MgO, SO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (общ.), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (в.р.), F, SiO<sub>2</sub> (табл. 4.1). В зависимости от температуры и концентрации получаемой экстракционной фосфорной кислоты сульфат кальция может образовываться в форме дигидрата CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O, полугидрата CaSO<sub>4</sub> · 0,5H<sub>2</sub>O или безводной соли CaSO<sub>4</sub>.

Минеральный состав фосфогипса ОАО «Гомельский химический завод» представлен CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O – 97–97,2%, AlPO<sub>4</sub> и FePO<sub>4</sub> – 0,8–1,2%, Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> и K<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> – 0,5%, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> – 0,7–0,85%, Ca<sub>5</sub>F(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> и CaF<sub>2</sub> – 0,7%.



Рис. 4.2. Отвалы фосфогипса ОАО «Гомельский химический завод» [26]

По внешнему виду фосфогипс – это полидисперсный материал серо-белого цвета, представленный агрегатами частиц, комками с межагрегатными пустотами. Он содержит примеси неорганических и органических соединений, водорастворимых и водонерастворимых, адсорбированных на поверхности кристаллов. По гранулометрическому составу фосфогипс близок к пылеватому песку, содержание частиц крупнее 0,1 мм составляет менее 75%, а частиц мельче 10 мкм – около 40–55%. В отвалах он содержит до 40–50% влаги и при механическом воздействии способен разжижаться с выделением свободной воды и уменьшением объема.

Его полная влагоемкость составляет 65–70%. Максимальная влагоемкость равна 15–16%, что характеризует способность фосфогипса удерживать влагу силами молекулярного сцепления. Пластическими свойствами он не обладает, в жгут не раскатывается. Его удельная поверхность составляет 3400–4300 см<sup>2</sup>/г [17].

По данным Гомельского отдела РУП «Геосервис», плотность фосфогипса ОАО «Гомельский химический завод» при естественной влажности изменяется в интервале значений от 1,09 до 1,72 г/см<sup>3</sup>, плотность твердой компоненты – от 2,53 до 2,83 г/см<sup>3</sup>. Угол естественного откоса при влажности, равной 44%, составляет 55°.

Разрушающее напряжение при растяжении образцов фосфогипса равно 0,0019 МПа. Он отличается достаточно высокими прочностными показателями: угол внутреннего трения равен 30–34°, а сцепление – 0,031–0,042 МПа. Внутреннее трение проявляется при деформациях сдвига вследствие заклинивания и сцепления отдельных частиц.

Фосфогипс обладает квазитиксотропными свойствами, он способен разжижаться при вибрации, встряхивании или перемешивании. При уплотнении происходит уменьшение пористости, отжатие или перемещение воды по массе. Значения коэффициента сжимаемости, модуля общей деформации и коэффициента пористости зависят от величины нагрузки уплотнения (табл. 4.2).

Таблица 4.1. Валовой химический состав фосфогипса ОАО «Гомельский химический завод»

Источник данных	Содержание, %											
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> общ.	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в.р.	F <sup>-</sup>
Институт геологических наук НАН Беларуси (фосфогипс свежеотсыпанный, 1994)	0,49	0,07	29,1	0,51	0,10	—	—	—	41,3	3,0	—	—
Институт геологических наук НАН Беларуси (фосфогипс из отвала, 1994)	0,42	0,04	30,7	1,06	0,08	—	—	—	46,9	1,05	—	—
Институт «Госхимпроект»	—	0,2	39–40	—	—	—	—	—	56–57	1,0–1,2	0,5–0,6	0,3–0,4
Комаров и др. [53]	0,72	0,5	31,4	0,14	—	—	—	—	44,3	2,5	1,7	0,7
Центральная заводская лаборатория (2015)	0,86	0,87	39,3	0,004	0,07	0,06	0,1	0,51	55,7	1,24	0,43	0,37

Таблица 4.2. Зависимость показателей физико-механических свойств фосфогипса от нагрузки уплотнения [54]

Показатели свойств	Нагрузка уплотнения, МПа			
	0,025	0,05	0,10	0,20
Коэффициент пористости, д.е.	1,69	1,63	1,54	0,20
Коэффициент сжимаемости, МПа <sup>-1</sup>	0,024	0,018	0,015	0,011
Модуль деформации, МПа	0,80	0,11	0,13	0,18

По фильтрационной способности фосфогипс близок к супесчаным грунтам. Его коэффициент фильтрации зависит от плотности шлама [54]. Свежеотсыпанный шлам обладает высокой проницаемостью (коэффициент фильтрации – 1–3 м/сут). По мере увеличения высоты отвалов нижние слои фосфогипса уплотняются (при высоте отвалов 40–60 м величина дополнительного давления на земную поверхность достигает 4–6 МПа), что ведет к снижению их проницаемости: с увеличением плотности от 1,25 до 1,4 г/см<sup>3</sup> коэффициент фильтрации уменьшается от 1,04 до 0,8 м/сут, а при плотности 1,5 г/см<sup>3</sup> его значение достигает 0,47 м/сут. Это обстоятельство предопределяет формирование в техногенных массивах водоносных горизонтов, режим которых в значительной степени будет определять условия устойчивости откосов за счет гидростатических и гидродинамических сил [55].

С увеличением плотности фосфогипса значительно повышаются его прочностные показатели. В рыхлом состоянии он характеризуется наименьшими показателями сцепления (табл. 4.3).

Таблица 4.3. Зависимость прочностных показателей фосфогипса от плотности [55]

Состояние	Глубина залегания, м	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения, град	Сцепление, МПа
Рыхлый, трещиноватый	0–20	1,5	32	0,03
Плотный	20–45	1,7	31	0,045
Размягченный, водонасыщенный	45–64	1,8	32	0,06

По результатам вращательного среза в отвалах величина структурной прочности для рыхлого фосфогипса составляет в среднем 0,03 МПа. Испытание фосфогипса на компрессионное сжатие при нагрузках, превышающих структурную прочность, характеризует его как сильносжимаемую породу; коэффициент сжимаемости составляет 0,09–0,14 МПа<sup>-1</sup>. Модуль деформации фосфогипса по результатам штамповых испытаний в интервале нагрузок 0,05–0,25 МПа равен 4,0–4,5 МПа (табл. 4.4).

В табл. 4.5 представлено сопоставление физико-механических свойств фосфогипса и некоторых природных грунтов. Обезвоженный и уплотненный укаткой фосфогипс характеризуется достаточно высокими показателями физико-механических свойств [17].

**Лигнин.** Лигнин – продукт отходов целлюлозно-бумажной промышленности и гидролизного производства. В зависимости от вида производства и технологического процесса различают сульфатный, сульфитный и гидролизный лигнин. В Беларуси лигнин долгое время образовывался на двух заводах – в Речице и Бобруйске и накапливался в отвалах. В настоящее время

Речицкий гидролизный завод не функционирует, а на ОАО «Бобруйский завод биотехнологий» значительно сократилось производство. Тем не менее на объектах складирования (в отвалах) накопилось более 3,36 млн т лигнина, хранящегося не один десяток лет (рис. 4.3).

Таблица 4.4. Результаты испытаний фосфогипса штампами (по данным Гомельского отдела РУП «Геосервис», 2007)

Номер скважины	Глубина, м	Площадь штампа $F$ , см <sup>2</sup>	Расчетный интервал давления $p_0 - p_n$ , МПа	Осадка в расчетном интервале давления $S_0 - S_n$ , см	Давление, МПа Полная осадка штампа, см	Модуль деформации $E$ , МПа
1а	2,0	600	0,10–0,25	0,158–0,599	<u>0,35</u> 0,994	4,5
1б	3,0	600	0,05–0,20	0,029–0,458	<u>0,35</u> 1,01	4,5
2а	2,5	600	0,05–0,20	0,040–0,502	<u>0,35</u> 1,06	4,5
2б	4,0	600	0,10–0,25	0,148–0,653	<u>0,35</u> 1,053	4,0

Таблица 4.5. Сравнительная оценка показателей физико-механических свойств фосфогипса и некоторых природных грунтов [54]

Консистенция грунтов	Глина		Суглинок		Фосфогипс	
	$\varphi$ , град	$c$ , МПа	$\varphi$ , град	$c$ , МПа	$\varphi$ , град	$c$ , МПа
Текучая	6	0,005	10	0,005	17–28	0,0–0,01
Тугопластичная	18	0,040	21	0,025	40–41	0,03–0,04
Полутвердая	20	0,060	23	0,040	42–43	0,04–0,06
Твердая	22	0,100	25	0,060	43–44	0,06–0,08

Примечание:  $\varphi$  – угол внутреннего трения;  $c$  – сцепление.

Внешне лигнин представляет собой опилкоподобную массу темно-коричневого цвета со специфическим запахом и высокой влажностью (55–70%). В его минеральном составе кроме собственно лигнина (48–72%) присутствуют полисахариды (до 12–30%), смолистые вещества (7–19%), зола (до 9%), редуцирующие вещества (до 10%) [56].

По физико-химической природе лигнин – трехфазная полидисперсная система с размерами частиц от нескольких миллиметров до микронов и меньше. Исследования лигнинов, полученных на различных заводах, показали, что состав их характеризуется в среднем следующим содержанием фракций: размером более 250 мкм – 54–80%, размером менее 250 мкм – 17–46% и



Рис. 4.3. Отвалы лигнина ОАО «Бобруйский завод биотехнологий» (<http://www.gidroliz.by>, 2012)

размером менее 1 мкм – 0,2–4,3% [57]. По структуре частица гидролизного лигнина не является плотным телом (плотность лигнина составляет 0,755–1,035 г/см<sup>3</sup>), она представляет собой развитую систему микро- и макропор. Величина его внутренней поверхности составляет 760–790 м<sup>2</sup>/г для влажного лигнина и 6 м<sup>2</sup>/г – для сухого [58].

Лигнин не обладает связностью и пластичностью. Его физико-механические свойства в значительной степени зависят от состава и влажности. С увеличением влажности от 50 до 60% статическое напряжение сдвигу уменьшается от  $0,27 \cdot 10^{-3}$  до  $0,06 \cdot 10^{-3}$  МПа. При изменении нормального напряжения от 0 до 0,07 МПа статическое напряжение сдвигу увеличивается от  $0,4 \cdot 10^{-3}$  до  $3,6 \cdot 10^{-3}$  МПа, а динамическое – от  $1 \cdot 10^{-3}$  до  $18,0 \cdot 10^{-3}$  МПа. С увеличением количества присутствующих в лигнине трудногидролизуемых полисахаридов повышаются показатели объемного веса от 0,21 до 0,31 г/см<sup>3</sup> и прочности при сжатии от 0,03 до 0,09 МПа [59]. Лигнин по физико-механическим свойствам близок к заторфованным грунтам с характерной для них высокой сжимаемостью.

**Другие техногенные образования.** К насыпным техногенным грунтам относятся также твердые коммунальные (или бытовые) отходы полигонов ТКО и так называемых несанкционированных, стихийных свалок. Состав поступающих отходов зависит от особенностей хозяйственной деятельности населенных пунктов, привноса в бытовую мусор отходов предприятий и строительства.

**Твердые коммунальные (бытовые) отходы полигонов ТКО.** На полигонах ТКО Беларуси, которых насчитывается около 200, ежегодно захоронению

подлежит порядка 16,5 млн т или 7 млн м<sup>3</sup> отходов потребления и отходов производства. Суммарная площадь земельных отводов для этих полигонов составляет около 900 га, из которых более 50% занято отходами [56]. В течение последних 15 лет в стране наблюдается постоянный рост коммунальных отходов. Показатель удельного образования их увеличился за этот период с 0,485 до 1,5 кг на человека в день, т.е. почти в 3 раза (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Разросшаяся свалка твердых коммунальных отходов вблизи Витебска (<http://www.sb.by>, 2013)

По экспертным оценкам, за последние годы в составе отходов заметно увеличилась доля полимерных материалов, отходов от упаковок, а также отходов стекла. В целом твердые коммунальные отходы имеют состав, представленный на рис. 4.5.

Как видно из рис. 4.5, на полигонах ТКО в насыпных коммунально-бытовых отходах присутствуют различные по составу, классам опасности и свойствам вещества, часто в аномальных концентрациях, претерпевающие в ходе функционирования полигона интенсивные и длительные воздействия физической, химической и биохимической природы.

Складируемые отходы, как правило, взаимодействуют с водой и воздухом. Протекающие при этом процессы обуславливают выделение тепла и образование новых твердых, жидких и газообразных веществ, часть из которых в виде фильтрата и газообразных соединений выносятся из тела свалки. В итоге со временем состав свалочных тел меняется: содержание органической составляющей уменьшается, а количество инертных материалов (стекла, пластика, минеральной части грунтов) возрастает.

В химическом составе техногенных грунтов ТКО преобладают органические вещества и углерод, в небольших количествах (около 1–3,5%) присутствуют азот и кальций, зольность свалочных грунтов составляет 28–41% [61].



Рис. 4.5. Усредненный морфологический состав твердых коммунальных отходов на территории Беларуси [60]

Грунты полигонов ТКО отличаются неоднородностью состава, сложения и свойств как по разрезу, так и по простиранию, что обусловлено составом и размерами включений, а также временем их отсыпки. Слоистое строение характерно для свалок, которые образуются в результате планомерной отсыпки, когда слои коммунально-бытовых отходов засыпаются местными суглинистыми грунтами, главным образом для предотвращения самовозгорания. Чаше встречается хаотическое залегание отдельных составляющих частей свалки.

Складированные грунты полигонов и свалок ТКО неоднородны по дисперсности. Коэффициент неоднородности их гранулометрического состава и сама дисперсность увеличиваются во времени – с возрастом свалки [17].

Свалочные грунты характеризуются высокой влажностью (20–60%) и пористостью (60–70%). Плотность их изменяется в пределах от 0,6–0,8 до 1,6 г/см<sup>3</sup> [56]. Отмечается увеличение плотности во времени по мере их слеживания, с глубиной она возрастает тем больше, чем больше мощность слоя отсыпанного отхода. Присутствие твердых включений, особенно железа, также увеличивает плотность этих грунтов.

Техногенным грунтам полигонов ТКО свойственна фильтрационная неоднородность и плохая водоотдача. Коэффициент фильтрации для свежотсыпанных отходов может составлять первые десятки метров в сутки, а для «старых», слежавшихся – до 10<sup>-3</sup>–10<sup>-5</sup> м/сут и менее [62; 63].

---

Грунты полигонов ТКО отличаются высокой сжимаемостью, медленным протеканием процессов самоуплотнения, значительной изменчивостью и анизотропией свойств. Время уплотнения грунтов на свалках коммунально-бытовых отходов достигает 30 лет и более [17]. Для аэробных, влажных условий продолжительность процесса самоуплотнения грунтов может в 3 раза превышать таковой для анаэробных условий. Осадки могут составлять около 1/3 от первоначальной высоты насыпи [61].

Прочностные характеристики грунтов полигонов ТКО существенно зависят от возраста отсыпки отвалов и их уплотнения. Так, у отходов с возрастом отсыпки 9 месяцев при плотности грунта  $1,2 \text{ г/см}^3$  сцепление составляет  $0,026 \text{ МПа}$  и угол внутреннего трения равен  $10^\circ$ , в то время как у отходов свалок трехгодичной давности отсыпки при плотности грунта  $1,23 \text{ г/см}^3$  сцепление увеличивается до  $0,105 \text{ МПа}$ , а угол внутреннего трения – до  $19^\circ$ . Однако, как свидетельствуют исследования [62], с возрастом отвалов у слагающих их грунтов при росте значений плотности и сцепления наблюдается уменьшение угла внутреннего трения.

Модуль деформации свалочных грунтов, по данным компрессионных испытаний при малых нагрузках ( $0-0,1 \text{ МПа}$ ), часто не превышает  $2 \text{ МПа}$ , с увеличением нагрузки до  $0,3 \text{ МПа}$  он может достигать  $5 \text{ МПа}$ .

**Несанкционированные, стихийные свалки.** Под грунтами несанкционированных отвалов и свалок понимают техногенные грунты, сформированные в результате инженерно-хозяйственной деятельности на территории городов или вблизи них путем стихийной отсыпки строительного мусора, бытовых, реже промышленных отходов. В Беларуси ежегодно природоохранными службами выявляются сотни и тысячи подобных отвалов и свалок. Только в 2010 г. за первое полугодие было обнаружено более 5200 таких объектов. В грунтах свалок крупные включения представлены строительными отходами в виде обломков асфальта, бетона, битого кирпича, тротуарной и облицовочной плитки, осколков стекла, металлических и деревянных предметов, а также промышленных отходов и бытового мусора. Свойства этих грунтов в основном определяются вещественным составом и возрастом отсыпки слагающего их материала.

Ввиду неоднородности состава, сложения и свойств как по разрезу, так и по простиранию грунты полигонов ТКО и несанкционированных отвалов и свалок имеют множество ограничений в использовании их в качестве оснований.

Грунты культурного слоя являются одним из типичных и широко распространенных антропогенных образований; приурочены преимущественно к территориям городов и других поселений человека, имеющих длительную историю существования.

Термин «культурный слой» заимствован из археологии и означает слой любой горной породы и почвы со следами деятельности человека, т.е. наличия в его толще различных артефактов [64]. В инженерной геологии изуче-

---

нием культурных слоев занимались Ф.П. Саваренский [65], Ф.В. Котлов [66; 11; 67; 12] и др. С точки зрения грунтоведов, культурный слой относится к искусственным грунтам без кристаллизационных связей [68].

По составу и свойствам грунты культурного слоя резко отличаются от нижележащих грунтов. В культурных слоях встречаются разнообразные остатки: строительный мусор, битый кирпич и камень, глиняные черепки, предметы домашнего обихода. Формирование культурного слоя связано, с одной стороны, с геологическими и геоморфологическими условиями местности, с другой – с историей поселения, характером хозяйственно-культурной деятельности человека.

Ф.П. Саваренский [65] определял культурный слой как класс искусственно созданных грунтов, обладающих, в зависимости от уплотненности и связанности, различными физико-химическими свойствами. Он отмечал, что современный культурный слой – это рыхлый, несцементированный материал, иногда содержащий неразложившиеся органические остатки. Древние же культурные слои отличаются большим уплотнением и связностью, что позволяет использовать их в качестве оснований фундаментов.

Накопление этого слоя происходит при производстве земляных работ, подсыпке грунта для повышения отметки строительной площадки, при благоустройстве территории, включая мощение дворов и улиц, устройство различных настилов, булыжных, асфальтовых покрытий и другое, и, что немаловажно, за счет накопления мусора. Превращение грунтов в культурный слой происходит и за счет оставшихся в них фундаментов, погребов, срубов колодцев, свай и других предметов и остатков сооружений.

Мощность культурного слоя может колебаться в широких пределах – от нескольких сантиметров до десятков метров и зависит от времени и продолжительности существования населенного пункта, рельефа местности и др. Местами накопления насыпного культурного слоя обычно служат овраги, речные долины, болота, засыпаемые при вертикальной планировке населенных пунктов и служащие для свалок мусора.

На территории Беларуси культурный слой наибольшим распространением пользуется в «старых» городах, где его мощность достигает значительных величин: в Витебске и Гродно на отдельных участках она составляет 8 м и более, в Минске – 4–6 м, Полоцке – 4–5 м (рис. 4.6). Он характеризуется своеобразным неоднородным составом, причем резкая неоднородность грунтов культурного слоя прослеживается как по вертикали, так и в горизонтальном направлении (рис. 4.7). Минерально-петрографический состав основной минеральной массы чаще всего обусловлен геологическими условиями местности, а состав включений определяется характером хозяйственно-культурной деятельности населения. Кроме того, в культурном слое часто имеется много органического вещества как в рассеянном состоянии, так и в виде концен-

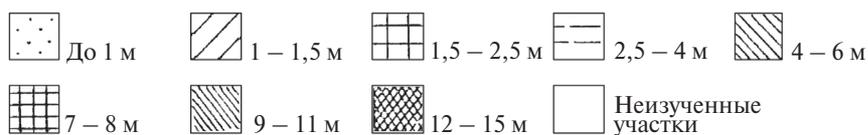
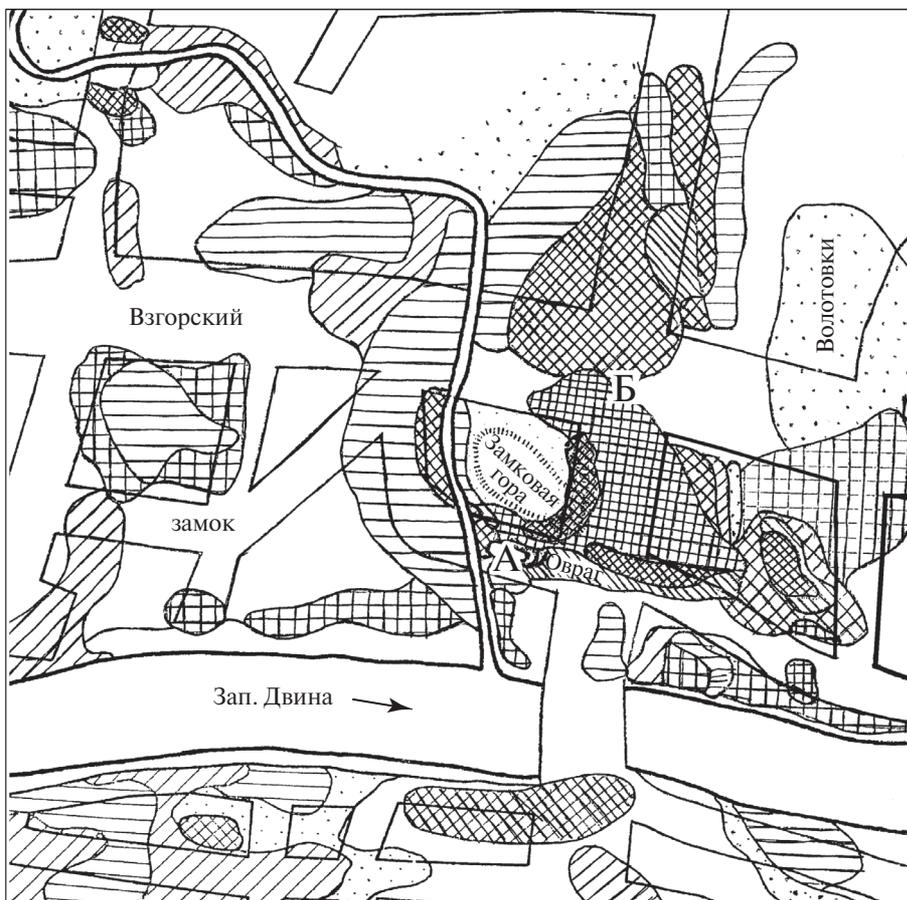


Рис. 4.6. Распределение мощности культурного слоя в исторической зоне Витебска [70]:  
 А – Верхний замок; Б – Нижний замок

трированных включений – гнезд, линз, количество которых убывает с увеличением возраста культурного слоя.

Существуют различные подходы к изучению культурного слоя и разные способы расчленения техногенной толщи. Е.М. Пашкин [69] на примере

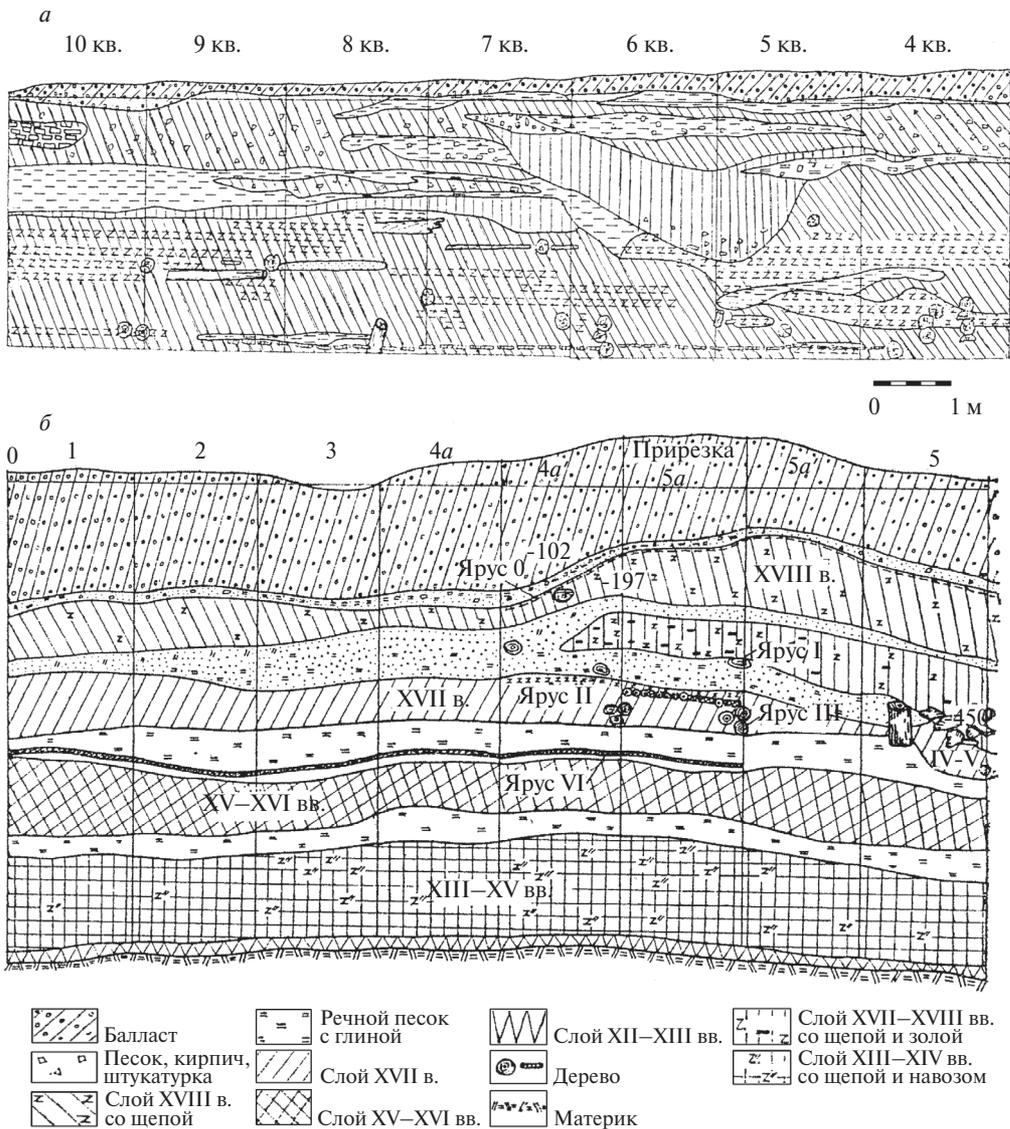


Рис. 4.7. Профили раскопов в исторической зоне Витебска [70]:

*a* – Верхний замок; *б* – Взгорский замок

древних городов центра европейской части России условно выделяет в толще накоплений культурного слоя две пачки, различающиеся по составу, строению и свойствам слагающих их грунтов.

---

Верхняя пачка техногенных накоплений сложена обычно песчано-глинистыми грунтами с большим количеством отходов строительного материала (щебня и дресвы различных по составу пород, обломков кирпича, древесины, керамики, изделий из металла, извести и т.п.), преимущественно недоуплотненных и несслежавшихся из-за сухой отсыпки.

Состав и свойства этих грунтов отражают особенности строительных технологий XVI–XX вв., связанных с проведением крупных планировочных работ, возведением земляных и гидротехнических сооружений, широким использованием естественных каменных и искусственных строительных материалов, древесины. В верхней части этой пачки грунтов, приуроченной к концу XIX–XX в., заметно проявляются следы химического загрязнения и засоления инфильтрующимися атмосферными осадками, тальми водами, содержащими компоненты, способные существенно изменить состав и структуру грунтов. Нижняя пачка культурного слоя представлена черными и темно-бурыми гумусированными органоминеральными грунтами, накопленными до конца XVI в. Минеральной основой этих грунтов служат глины, суглинки, супеси, реже пески. В них встречаются остатки деревянных, иногда каменных древних сооружений. Значительное влияние на свойства грунтов нижней пачки оказывает органическое вещество (остатки древесины, уголь, растительный детрит, гумус и т.п.), содержание которого варьирует от первых процентов до 80%. Органоминеральные грунты залегают на глубинах более 1,5 м и имеют общие стратиграфо-генетические черты на территориях исторических городов Древней Руси.

В работе Ф.В. Котлова [66] нет единой схемы расчленения культурного слоя, однако в каждом из выделенных им историко-генетических районов на территории города (в старой застройке, древних оборонительных и гидротехнических сооружениях, старых кладбищах, дорогах и уличных проездах, насыпанных речных долинах, оврагах, озерах, болотах и т.д.) существуют свои особенности строения техногенной толщи.

Археологические раскопки древнего Витебска и наблюдения за слоями во время строительных работ, проводимые с 1963 г., позволили расчленить культурный слой исторического центра города на несколько горизонтов (табл. 4.6), датировка которых основана на анализе встречающейся керамики (так называемого массового археологического материала).

Наиболее древние отложения – *стратиграфический слой 1* – представляют собой спрессованный слой коричневого цвета, образовавшийся в результате разрушения органических остатков (дерево). Мощность его колеблется от 0,1 до 0,4 м. Среди находок древнейшего слоя наряду с обломками тиглей для плавки и каменными формами для отливки цветных металлов отмечены шлаки.

Таблица 4.6. Стратиграфия культурного слоя Нижнего замка Двинской возвышенности в историческом центре Витебска [71]

Номер слоя	Характеристика слоя	Строительный период	Датировка
1	Коричневый, заторфованный	—	VI–VIII вв.
2	Светло-серый, опесчаненный	—	IX – начало XI в.
3	Черный: нижний период – перемешан с золой верхний период – без примесей, рыхлый	I II–III	Начало X – первая половина XII в. Середина XI – первая половина XIII в.
4	Темно-серый: первый период – спрессованный со щепой и навозом (коричневый) второй период – темно-серый, рыхлый, без примесей третий период – темно-серый, рыхлый, со щепой	IV–VII VIII IX–XIV	Середина XIII–XIV в. XV–XVI вв. XVII–XVIII вв.

*Стратиграфический слой 2* – светло-серой окраски с примесью песка мощностью от 0,04–0,1 до 0,2–0,45 м. В слое содержатся обломки тиглей и шлаки.

*Стратиграфический слой 3* – черной окраски мощностью от 0,4–0,8 до 1,6–1,9 м. Хронологически в нем выделяется два периода. Для раннего времени характерны черные, рыхлые по структуре напластования, содержащие уголь и золу. От слоя 2 он отделен линзами голубой вязкой глины. Такие линзы характерны и для верхней части этого слоя. Толщина слоя в разных местах раскопов колеблется от 0,1–0,3 до 0,5–0,7 м. В отдельных местах слой пререзает прослойка коричневой окраски мощностью 0,3–0,6 м, состоящая из спрессованного навоза, щепы и травы. Сверху слой раннего периода перекрыт мелкими пережженными камнями, мощной прослойкой извести, включающей мелкие камни, битую плинфу, куски глины.

Слой позднего периода – черного цвета, рыхлый по структуре; мощность его изменяется от 0,2–0,4 до 0,9–1,2 м, содержит крайне мало примесей. Последние сконцентрированы в виде отдельных прослоек, иногда довольно значительных по мощности (0,2–0,4 м). Во многих местах напластования этого слоя пререзает мощная прослойка (до 0,3 м) обугленной древесины – последствия пожара.

*Стратиграфический слой 4* отличается от предыдущего несколько более светлой окраской, поэтому он условно обозначен как стратиграфический слой темно-серого цвета. Мощность его колеблется от 1,7–1,8 до 2,2–2,4 м. При этом следует отметить, что цифровые показатели толщины слоя весьма условны, поскольку верхняя его часть сnivelирована в результате стро-

ительной деятельности в XIX–XX вв. По всевозможным примесям, и в первую очередь по содержанию щепы и структуре, внутри напластований темно-серой окраски можно вычленить три больших периода. Такое членение подтверждается датировкой вещевого материала, содержащегося как в слое, так и в строительных периодах. Для четвертого стратиграфического слоя характерно высокое содержание спрессованной щепы, особенно в нижней его части, отчего он получил коричневый оттенок. Вверх по разрезу коричневые напластования сменяются рыхлыми опесчаненными слоями серого цвета с различным содержанием щепы.

Обобщая приведенные и имеющиеся в литературе данные по строению толщ культурного слоя, следует отметить, что оно определяется как геологическими факторами, так и историей урбанизации территории. В древних городах и небольших поселениях, в строении культурного слоя встречаются пачки, слои, горизонты и их сохранившиеся фрагменты: содержащие строительный мусор и остатки древних сооружений; обогащенные органическим веществом различного генезиса. Верхняя часть разреза грунтов культурного слоя сформирована под влиянием современного урбанизма.

В составе техногенных грунтов культурного слоя можно выделить основную массу, определяемую геологическими условиями, и включения, обусловленные хозяйственно-бытовой деятельностью человека. Основная масса по сравнению с включениями менее разнообразна и, как отмечал Ф.В. Котлов [66], в 73% случаев однотипна.

Выявление дифференцированного распределения состава основной массы и включений позволило А.А. Никифорову [72] выделить три подтипа культурного слоя в зависимости от времени возведения сооружения, периода функционирования (обживания) и времени разрушения. Считается, что образование каждого подтипа предопределено характером формирования культурного слоя, который обуславливает степень однородности его состава, строения и свойств. Проводимые Витебским отделом РУП «Геосервис» инженерно-геологические изыскания в исторической зоне Витебска позволили выделить в ее пределах два литологических горизонта культурного слоя. Первый — песчаный мощностью 4–7 м, сложенный преимущественно мелкими и пылеватыми песками со строительным мусором (битый кирпич, куски арматуры, отдельные валуны и др.), датируется XIX–XX вв.; второй — глинистый мощностью 2,5–6,5 м, заторфованный, с остатками слаборазложившейся древесины, с песчаными линзами и прослойками, сформированный по археологическим данным на протяжении нескольких веков.

Песчаные грунты культурного слоя слаболигифицированы, естественная влажность их — 13–20%, преимущественно рыхлого и среднеплотного сложения ( $1,77–1,94 \text{ г/см}^3$ ); коэффициент пористости песков в среднем составляет 0,75, коэффициент фильтрации — 0,95 м/сут, угол естественного откоса в сухом состоянии варьирует в пределах  $37–43^\circ$ , под водой —  $28–30^\circ$ .

Глинистые грунты культурного слоя отличаются весьма неоднородными свойствами: естественная влажность их изменяется в пределах от 10 до 117% и выше, плотность — от 0,97 до 1,89 г/см<sup>3</sup>, коэффициент пористости — от 0,68 до 3,58, число пластичности — от 5 до 24%. Относительное содержание органического вещества в них варьирует от 0,06 до 0,41. Консистенция грунтов изменяется от твердой до текучей; водопроницаемость их благодаря глинистому составу и наличию органики низкая (0,01–0,001 м/сут). Прочностные показатели в среднем составляют: сцепление —  $0,22 \cdot 10^5$  Па, угол внутреннего трения — 25°, коэффициент внутреннего трения — 0,457. По деформационным характеристикам глинистые грунты культурного слоя являются повышенно сжимаемыми и деформируемыми: по данным компрессионных испытаний в диапазоне нагрузок 0,1–0,2 МПа их коэффициент сжимаемости изменяется от  $0,050 \cdot 10^{-5}$  до  $0,324 \cdot 10^{-5}$  Па<sup>-1</sup>, а модуль деформации варьирует в интервале значений от 0,3 до 1 МПа при среднем значении 0,6 МПа.

В целом следует отметить: несмотря на то что по существующим строительным нормам грунты культурного слоя считаются слежавшимися, процессы уплотнения в них еще не завершились. Учитывая высокую неоднородность состава и строения грунтов культурного слоя, следует предполагать большую изменчивость свойств, что представляет опасность для строительства и реконструкции зданий и сооружений.

## 4.2. Намывные промышленные грунты

Намывные промышленные отходы как грунты формируются из разрабатываемых гидравлическим способом вскрышных пород (гидроотвалы), из отходов обогащения твердых полезных ископаемых (хвостохранилища) и золошлаков ТЭС, работающих на твердом топливе (золоотвалы), при их гидравлической укладке, а также из шламов различных производств (шламонакопители).

Таким образом, рассматриваемые отходы могут быть представлены как горными породами, так и продуктами их переработки, осуществляемой с целью извлечения полезных ископаемых или тепловой энергии. По характеру структурных связей это могут быть как связные, так и несвязные грунты.

**Намывные гидроотвалы.** Намывные гидроотвалы представляют собой массивы техногенных грунтов, образующиеся средствами гидромеханизации в процессе разработки природных грунтов, транспортирования их по пульповоду и отложения в месте использования или сброса.

В состав гидроотвалов входят ограждающие дамбы (первичного и последующего обвалования), внутренние зоны, заполняемые намываемым материалом, пруд-отстойник, водозаборные и водосбросные устройства (каналы, колодцы, водоводы, ливнеотстоки и др.), пульповоды (рис. 4.8).

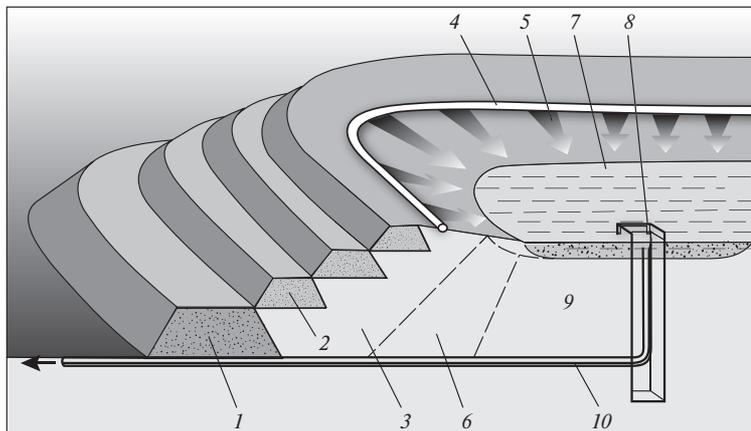


Рис. 4.8. Схема основных элементов гидроотвала (geology.slovaria.ru, 2017):

1 – первичная дамба обвалования (дамба начального обвалования); 2 – дамбы последующего обвалования, возводимые поярусно; 3 – упорная призма, состоящая из наиболее крупнозернистых фракций намываемого грунта; 4 – намывная пульповод на эстакаде; 5 – пляж (поверхность между дамбой обвалования и прудком); 6 – промежуточная зона; 7 – прудок (прудок-отстойник), обеспечивающий водоосветление и водоснабжение; 8 – водосбросный (водозаборный) колодец; 9 – ядро (центральная зона); 10 – водосбросная труба

Ограждающие дамбы возводятся на полную высоту или наращиваются поэтапно по мере заполнения. Объемы намывных грунтов в наиболее крупных гидроотвалах ежегодно достигают нескольких десятков миллионов кубометров при скорости намывания 6–8 м в год.

По годовой приемной способности (млн м<sup>3</sup>) выделяется четыре категории гидроотвалов (I – свыше 5, II – от 2 до 5, III – от 1 до 2, IV – до 1). По высоте различают гидроотвалы низкие (до 10 м), средние (10–30 м) и высокие (более 30 м). В зависимости от состава складированной породы и способов обвалования гидроотвалы подразделяют на три типа. В гидроотвалы первого типа подаются пылевато-глинистые породы, а дамба обвалования возводится из привозного грунта на всю высоту. В гидроотвалы второго типа намывают песчаные или песчано-глинистые породы, при этом дамбы обвалования сооружают из намытого грунта. Гидроотвалы третьего типа отличает складирование пород, содержащих песчаные и большей частью пылевато-глинистые частицы; дамбы обвалования поярусно отсыпают из привозного грунта.

Состав грунтов гидроотвалов определяется составом пород вскрыши – обычно это песчано-глинистые отложения. Он может быть как однородным, так и неоднородным. В гидроотвалах минеральный состав грунтов полностью соответствует составу пород вскрыши.

Строение массивов грунтов гидроотвалов определяется рельефом их основания, технологией намыва и составом намывных грунтов, т.е. степенью разнородности складированного материала.

---

В ходе намыва по его фронту происходит фракционирование материала по крупности, вследствие чего выделяются пляжная зона (зона сброса пульпы или приоткосная зона), промежуточная зона, прудковая зона (зона пруда-отстойника, или ядерная зона). Расположение этих зон, занимаемые ими площади, мощности отложенного материала зависят от типа гидроотвала и технологии намыва. При намыве песчано-глинистых отложений в пляжной зоне откладывается преимущественно песчаный материал, в промежуточной – супесчаный и суглинистый, в прудковой – глинистый. Более детальное районирование гидроотвалов, предложенное Ю.И. Кутеповым [73], предполагает выделение зон песчано-супесчаных, суглинистых и глинистых грунтов, каждую из которых можно разделить по консистенции на подзоны текучих, мягкопластичных, тугопластичных, а иногда и полутвердых грунтов (табл. 4.7).

**Золошлакоотвалы тепловых электростанций.** Золошлакоотвалы тепловых электростанций представлены минеральным остатком, получающимся при сжигании твердого топлива – угля, торфа, горючих сланцев. Одна ТЭС средней мощности ежегодно выбрасывает в отвалы до 1 млн т золы и шлаков, а станция, сжигающая многозольное топливо (например, сланцы), – до 5 млн т. Шлак образуется в результате слипания размягченных частиц золы в объеме топки и накапливается в шлаковом бункере под топкой. После охлаждения расплава в водяной бане кусковой шлак подвергается дроблению и направляется в систему гидроудаления. Размер зерен шлака колеблется от 0,3 до 50 мм. Зола представляет собой тонкодисперсный порошок, образующийся из минеральной части твердого топлива. Из топки она уносится с дымовыми газами (зола-унос) и улавливается при их очистке в циклонах и электрофильтрах. Зола состоит из частиц сферической формы размером от нескольких до 50–60 мкм с гладкой остеклованной поверхностью. На микроуровне эти частицы имеют пемзовидное строение, обусловленное формированием пустот при быстром остывании материала. При совместном гидроудалении отходов формируются гидроотвалы золошлаков – смеси тонкодисперсной золы и зернистого шлака [17].

Топливные золы и шлаки состоят из оксидов кремния, железа, кальция и др., а также содержат несгоревшее топливо. Состав продуктов сжигания наиболее распространенных энергетических топлив зависит в первую очередь от химического и минерального состава сжигаемых пород. Так, в золах и шлаках донецких углей преобладают оксиды кремния и алюминия, содержание которых может находиться в пределах 35–65 и 12–30% соответственно. Для золошлаков от сжигания каменных углей Кузнецкого бассейна характерно высокое содержание кремнезема (до 60%) и низкое содержание оксидов железа (менее 10%). Один из крупнейших бурогольных бассейнов, Канско-Ачинский, является источником получения золошлаков, характеризующихся высокими значениями в валовом составе оксида кальция.

Таблица 4.7. Состав, состояние и свойства намывных грунтов Кузбасса [73]

Физико-механические свойства	Песчано-супесчаная зона	Суглинистая зона			Глинистая зона		
		подзоны пород по консистенции			подзоны пород по консистенции		
		текучих	мягкопластичных	тугопластичных	текучих	мягкопластичных	тугопластичных
Влажность, %	14–30	27–40	24,5–31,4	22,1–26,3	37–100	31–38	28–31
Плотность, т/м <sup>3</sup>	1,7–2,1	1,8–1,92	1,9–2,0	2,0–2,02	1,61–1,88	1,88–1,96	1,96–2,01
Пористость, %	33,7–43,7	44–52,5	38,5–46,6	40–41,6	50–71	44,5–50	41–44
Угол внутреннего трения, град	25–32	14–23	19–25	22	0–6	8–16	8–16
Сцепление, МПа	0,013–0,055	0,015–0,026	0,023–0,043	0,04–0,063	0,005–0,015	0,015–0,035	0,04–0,06
Коэффициент сжимаемости, см/кг <sup>2</sup>	0,06–0,008	0,14–0,04	0,08–0,02	0,02–0,009		0,1–0,03	0,03–0,01
Коэффициент фильтрации, м/с	10 <sup>-4</sup> –10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-3</sup> –10 <sup>-9</sup>			10 <sup>-10</sup> –10 <sup>-11</sup>		

В зависимости от вида сжигаемого топлива золошлаки подразделяются:

- на кислые – с содержанием оксида кальция менее 10% (образуются от сжигания каменного и бурого угля, антрацита и торфа);
- основные – с содержанием оксида кальция более 10% (образуются от сжигания сланцев и молодых углей).

Минеральный (фазовый) состав зол и золошлаков разнообразен и отличается от природных образований. По данным Е.Н. Огородниковой и С.К. Николаевой [7], в золошлаках обнаружены мета- и ортосиликаты кальция, алюминаты, ферриты, алюмоферриты, частично или полностью дегидратированные формы глинистых минералов, обычно представленные муллитом. В значительных количествах содержатся оксиды кремния, гидроксиды кальция (портландит) и магнезия. В состав золошлаков в небольших количествах входят сульфаты и хлориды. Обязательной составляющей зол и золошлаков является уголь (недожог). Основная особенность золошлаков и зол – присутствие стекловидной фазы.

Золы гидроудаления тепловых электростанций могут быть представлены гранулометрическими разностями от супесей и даже мелких песков до пылеватых суглинков и глин. Обычно преобладают супеси. В прудах-отстойниках гидроотвалов образуются донные илы глинисто-пылеватого состава, для которых характерна текучая консистенция. Гранулометрический состав зол и шлаков определяется системой дробления шлака и транспортировкой материала на гидроотвал. В процессе намыва происходит распределение частиц и агрегатов по длине откоса намыва: наиболее крупные и более окатанные разности осаждаются вблизи выхода пульпы, а наиболее мелкие и менее окатанные – по периферийной зоне и в зоне пруда-отстойника.

На гидроотвалах можно выделить четыре зоны фракционирования: шлаковую (с преобладанием 80–90% шлаковых фракций размером от 0,5 до 5 мм), золошлаковую (в пределах которой шлаковых фракций содержится не более 40–60%), зольную надводного намыва и зольную подводного намыва (рис. 4.9). Осредненные размеры зон фракционирования русловых отложений надводного намыва в зависимости от особенностей удаления золы и шлака из топок котлов ТЭЦ приведены в табл. 4.8.

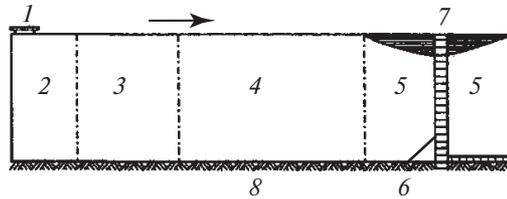


Рис. 4.9. Схема зон фракционирования при намыве золошлаков [7]:

1 – выпуск; 2 – шлаковая зона; 3 – золошлаковая зона; 4 – зольные отложения надводного намыва; 5 – зольные отложения подводного намыва; 6 – водосборный колодец; 7 – зона отстойного пруда; 8 – подстилающие грунты

Таблица 4.8. Размеры зон фракционирования русловых отложений надводного намыва [7]

Отвалы	Удаление золы и шлака	Относительная длина зон фракционирования, км		
		шлаковой	золошлаковой	зольной
Золоотвалы	Совместное золы и жидкого шлака	0,3	0,5	0,2
	Совместное золы и крупного твердого шлака	–	0,2	0,8
	Совместное золы и твердого шлака средней крупности	–	0,1	0,9
	Совместное золы и мелкого твердого шлака	–	0,1	0,9
	Раздельное золы	–	–	1,0
Шлакоотвалы	Раздельное жидкого шлака	1,0	–	–
	Раздельное крупного твердого шлака	0,1	0,9	–
	Раздельное твердого шлака средней крупности	–	0,8	0,2

При складировании золошлаков средствами гидромеханизации на состав формирующегося грунта существенное влияние оказывает технология намыва. Так, если средний диаметр частиц в месте выпуска пульпы составляет 10–13 мм, то на удалении 200 м он снижается до 0,1–1 мм, а еще далее – до 0,06 мм. Наряду с изменением дисперсности грунтов по площади на некоторых золоотвалах наблюдается изменение дисперсности по глубине, что часто обусловлено наращиванием дамб обвалования, увеличением высоты золо-

---

отвала и перемещением зон выпуска пульпы. В целом пространственная изменчивость грунтов золошлакоотвалов аналогична таковой для гидроотвалов природных грунтов [17].

Е.Н. Огородникова и С.К. Николаева отмечают, что для намытых золошлаков характерны слоистость (горизонтальная, косая или линзовидная) и анизотропия по водопроницаемости и другим свойствам. Пласты золошлаков имеют преимущественно горизонтальное залегание и мощность от нескольких сантиметров до 0,5 м. Граница между пластами подчеркивается хорошо видимыми пластовыми швами за счет изменения дисперсности, химического состава и микрослоистости. В разрезах можно наблюдать повторение седиментационных ритмов от более грубых разностей к тонким. Пласты делятся на более тонкие слои, в которых чередуются темные и светлые прослойки мощностью от нескольких до 10 см и более. Осветленные прослойки представлены тонкодисперсным пылеватым материалом, состоящим из прослоек угля, чередующихся с кварцем и муллитом. В случае скрытоактивных зол в их составе встречаются портландит, гипс, кальцит. Темные слои состоят из более грубодисперсного материала и характеризуются в разрезе изменением мощности как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении.

Свойства зольных и золошлаковых материалов зависят от состава минеральной части топлива, его теплотворной способности, режима сжигания, способа их улавливания и удаления, места отбора из отвалов. При этом следует отметить, что плотность зол меньше, чем плотность шлаков и золошлаков. Для зол характерны неоднородность по плотности, значительная водоудерживающая способность — из-за пористой структуры; модуль общей деформации может варьировать в широком диапазоне значений — от десятых долей до первых десятков мегапаскалей в зависимости от направления деформации по отношению к слоистости [26]. В зависимости от влажности золы гидроудаления характеризуются разной чувствительностью к динамическим нагрузкам: при малых влажностях они проявляют тенденцию к разуплотнению и снижению прочности; по мере повышения влажности складываются благоприятные условия для уплотнения зол при вибрации и повышения их прочности, причем этот эффект максимален при влажности, не совпадающей с оптимальной влажностью уплотнения, определенной стандартным способом; а при водонасыщении, близком к полному, возможно разжижение зол при вибрации, особенно в диапазоне частот 10–15 Гц [16]. В табл. 4.9–4.11 приведены отдельные характеристики свойств зол гидроудаления Витебской ТЭЦ.

**Хвостохранилища.** Хвостохранилища представляют собой специальные гидротехнические сооружения, в которые методом гидроотвалообразования осуществляется намыв хвостовой пульпы. Хвосты — отходы процессов обогащения полезных ископаемых, содержание ценного компонента в которых ниже, чем в исходном сырье. Хвосты обогащения, складированные на

Таблица 4.9. Физические свойства грунтов гидрозолоотвалов Витебской ТЭЦ  
(по данным Витебского отдела РУП «Геосервис», 1976)

Грунт	Статистические показатели	Влажность, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Степень влажности, д.е.	Пористость, %	Коэффициент пористости, д.е.	Коэффициент фильтрации, м/сут
			при естественной влажности	скелета	твердой компоненты				
Зола	<i>n</i>	19	8	7	14	7	7	7	4
	min	37	0,86	0,50	2,24	0,5	62	1,66	0,2
	max	137	1,50	1,03	2,76	1,0	81	4,46	0,3
	<i>x</i>	81	1,19	0,72	2,56	0,7	72	2,93	0,25

Таблица 4.10. Прочностные свойства грунтов гидрозолоотвалов Витебской ТЭЦ  
(по данным Витебского отдела РУП «Геосервис», 1989)

Грунт	Глубина, м	Сдвигающие усилия $\tau_j$ , 10 <sup>5</sup> Па, при нагрузках 0,5; 1; 1,5; 2 · 10 <sup>5</sup> Па				Удельное сцепление <i>c</i> , 10 <sup>5</sup> Па	Угол внутреннего трения $\phi$ , град
		$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	$\tau_4$		
Зола обводненная (продукт сгорания каменного угля)	1,4	0,71	0,51	1,38	—	0,36	34
	1,4	0,51	0,62	1,17	—	0,18	33
	1,4	0,56	0,71	0,77	—	0,46	12
Зола влажная (продукт сгорания торфа)	1,2	—	1,00	1,43	1,84	0,20	39
	1,2	—	1,12	1,51	1,84	0,40	36

Таблица 4.11. Результаты испытаний грунтов гидрозолоотвалов Витебской ТЭЦ  
(по данным Витебского отдела РУП «Геосервис», 1989)

Грунт	Глубина, м	Площадь штампа $F$ , см <sup>2</sup>	Расчетный интервал давления $p_0 - p_n$ , МПа	Осадка в расчетном интервале давления $S_0 - S_n$ , см	Давление, МПа Полная осадка штампа, см	Модуль деформации $E$ , МПа
Зола (продукт сгорания каменного угля)	1,2	5000	0,30–0,025	4,221–0,566	0,35 4,96	4,5
	3,8	600	0,30–0,10	0,496–0,128	0,50 1,05	11
	3,8	600	0,20–0,05	0,146–0,022	0,50 1,01	24
Зола (продукт сгорания торфа)	6,0	600	0,125–0,05	0,422–0,089	0,30 9,84	4,3
	6,0	600	0,125–0,05	0,804–0,051	0,25 7,32	2

---

поверхности земли, являются техногенно образованными грунтами, состав которых качественно и количественно отличается от состава исходных пород за счет извлечения полезных компонентов. Источником формирования хвостов служат процессы обогащения полезного ископаемого, среди которых наиболее широко применяются гравитационные технологии, магнитная сепарация и флотация. Среди всех отраслей горнодобывающей промышленности наибольшие объемы отходов в виде хвостов обогащения дают золотодобывающая, алмазодобывающая и железорудная отрасли. В частности, в хвосты уходит от 30 до 85% железорудного сырья.

В составе хвостов железорудных горно-обогатительных комбинатов (ГОК) по сравнению с исходной железной рудой, по данным Е.Н. Огородниковой и С.К. Николаевой [7], общее содержание окиси и закиси железа ниже в 3 раза, а количество  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SO}_3$  больше в 1,4–1,5 раза. Минеральный состав хвостов обогащения определяется составом исходного природного сырья, а соотношение минералов в хвостах обусловлено видом извлекаемых полезных компонентов. Характерной особенностью хвостов обогащения рудных ископаемых является абсолютное преобладание неглинистых минералов (кварца, полевых шпатов, пироксенов, карбонатов и др.).

Структурные особенности грунтов хвостохранилищ обусловлены технологическими процессами дробления и измельчения кускового рудного материала. Поэтому характерной является неправильная угловатая форма частиц. Дисперсность хвостов зависит от методов измельчения и обогащения, твердости и истираемости минералов.

Гранулометрический состав хвостов весьма разнообразен. Большая часть их представлена пылеватыми, супесчаными и суглинистыми разностями, реже встречаются мелкие и слюдястые.

При намыве пульпы в хвостохранилище происходит фракционирование хвостов. В результате этого процесса в зонах выпуска (сброса) хвостовой пульпы на хвостохранилищах образуются откосы намыва, которые выступают над водной поверхностью. После смещения зоны намыва отложения хвостов на откосах быстро отдают воду, высыхают и при соответствующих скоростях ветра, подвергаясь ветровой эрозии, становятся источниками пылевого загрязнения. При этом пылящие площади тем больше, чем длиннее и шире обезвоженные откосы намыва (пляжи). Плотность твердой фазы хвостов меняется в широких пределах – от 2,3 г/см<sup>3</sup> (фосфоритовые хвосты) до 4 г/см<sup>3</sup> (железорудные хвосты). Плотность отложений в среднем составляет 1,7–1,9 г/см<sup>3</sup> вблизи мест сброса пульпы и снижается до 1,2 г/см<sup>3</sup> в предупредковой зоне. Плотность скелета хвостов зависит от плотности частиц и пористости. На пляже хвостохранилища плотность скелета уменьшается по мере удаления от места сброса пульпы и увеличивается с глубиной. Наибольшие изменения плотности скелета наблюдаются в верхнем слое хвостов мощностью около

10 м. Пористость в среднем составляет 40–50%. Влажность намытых хвостов зависит от их гранулометрического состава и условий дренирования и может изменяться от 3,5–6% на поверхности до 20–30% (полное водонасыщение) на некоторой глубине. В связи с проблемой пылимости важной влажностной характеристикой хвостов является содержание гигроскопической влаги, которое меняется в зависимости от состава, дисперсности и влажности воздуха и составляет в среднем 0,14–0,28% [17].

Водопроницаемость отложений определяется их дисперсностью. С увеличением содержания мелких частиц происходит ухудшение условий дренирования и уменьшение коэффициентов фильтрации. При этом в массиве хвостохранилища наблюдается анизотропия фильтрационных свойств: коэффициенты фильтрации вдоль слоистости в 5 раз и более превышают значения этого показателя в перпендикулярном направлении. Сжимаемость намывных хвостов зависит от их минерального состава и плотности. Характерные значения компрессионных модулей деформации консолидированных хвостов различного состава приведены в табл. 4.12. Консолидационные испытания тонкодисперсных хвостов дают коэффициент консолидации  $C_v = 0,14 \text{ м}^2/\text{сут}$  и коэффициент затухания ползучести  $\delta = 0,55 \text{ мин}^{-1}$ . Как и в случае с глинистыми отложениями гидроотвалов, коэффициент  $\delta$  на несколько порядков выше, чем у природных грунтов, поэтому учет вторичной консолидации при прогнозе уплотнения намывных хвостов считается нецелесообразным.

Таблица 4.12. Характерные значения компрессионных модулей консолидированных хвостов различного состава (по отраслям) [4]

Хвосты	Плотность твердой компоненты $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность скелета грунта $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	Модуль деформации $E$ , МПа
Черной металлургии	2,60–4,0	1,65–2,04	15–22
Цветной металлургии	2,70–3,20	1,43–1,60	10–15
Обогащения фосфоритов	2,30–2,70	1,35–1,48	8–12

Прочностные характеристики хвостов обогащения определяются их дисперсностью, морфологией частиц и плотностью. Сопротивление сдвигу хвостов (табл. 4.13) по сравнению с природными кварцевыми песками соответствующей дисперсности отличается несколько большими значениями углов внутреннего трения и проявлением зацепления ( $c > 0$ ) за счет наличия в хвостах остроугольных, неправильной формы частиц. В целом показатели сопротивления сдвигу хвостов являются достаточно высокими [17].

**Шламы.** Шламы – это общее название осадков суспензий, получаемых в металлургических и химических производствах в результате процессов, осуществляемых гидрохимическим методом. Именно металлургические и химические комбинаты, где сосредоточены заводы по переработке руд и про-

изводству готовой продукции, являются источниками наибольшего объема шламов. Их инженерно-геологическая характеристика наиболее подробно рассмотрена Е.Н. Огородниковой и С.К. Николаевой [7; 15].

Таблица 4.13. Характерные значения компрессионных модулей консолидированных хвостов по составу [4]

Хвосты	Плотность скелета грунта $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	Сцепление $c$ , кПа
Песок крупный	1,63–1,72	34–38	1–68
Песок средней крупности	1,67–1,83	30–36	15–50
Песок мелкий	1,52–1,63	29–36	15–60
Смешанные	1,65–1,81	32–40	1–40

На территории Беларуси к подобным образованиям относятся *глинисто-солевые шламы* ОАО «Беларуськалий» в Солигорске, которые складировались в шламохранилищах наливного типа, занимающих площадь более 1100 га. За более чем пятидесятилетний период добычи и обогащения калийных солей в окрестностях Солигорска их накопилось порядка 95 млн т.

Глинисто-солевые шламы характеризуются довольно сложным химико-минеральным и гранулометрическим составом. Их минеральный состав представлен в основном карбонатами, сульфатами, полевым шпатом, кварцем и гидрослюдой, большей своей частью слагающими нерастворимый осадок шламов; значительную долю (25–30%) составляют галит и сильвин, количество которых зависит от стадии технологической обработки.

В шламовых грунтах содержится около 60–75% частиц размером менее 0,05 мм. Присутствие во всех образцах до 30% частиц размером менее 0,001 мм позволяет отнести шламы к высокодисперсным глинистым грунтам. Частицы крупнее 0,01 мм (до 0,1 мм) в количестве 15–20% представлены в основном галитом и сильвином [46].

Удельная поверхность нерастворимого осадка глинисто-солевых шламов составляет 40–45 м<sup>2</sup>/г, ионообменная емкость – до 9 мг-экв/100 г. Предел текучести шламовых грунтов – 50%, раскатывания – 23%; число пластичности – 27%, при содержании солей до 30% оно снижается до 10%; статическое напряжение сдвига суспензии при соотношении твердой и жидкой фаз, равном 1,7, составляет 25 н/м<sup>2</sup> [74]. Основные показатели физико-механических и фильтрационных свойств шламовых грунтов в зависимости от их рассоло-содержания представлены в табл. 4.14.

Меньшие объемы техногенных намывных грунтов формируются в *шламохранилищах*, где складировались очистные шламы, нефтешламы, смеси солей, шламы бурения и др. (рис. 4.10).

Таблица 4.14. Основные показатели физических и физико-механических шламовых грунтов

Наименование	Обозначение	Размерность	Рассолосодержание $W$ , %		
			50–70	30–50	10–30
Плотность частиц грунта	$\rho_s$	г/см <sup>3</sup>	2,20–2,71	2,20–2,71	2,20–2,71
Плотность грунта	$\rho$	г/см <sup>3</sup>	1,68–1,79	1,13–1,92	1,84–1,99
Плотность скелета грунта	$\rho_d$	г/см <sup>3</sup>	1,36–1,54	1,42–1,70	1,63–1,86
Коэффициент пористости	$e$	д.е.	0,65–1,33	0,540–0,860	0,0250–0,765
Пористость	$n$	%	47–65	31–50	17–34
Коэффициент уплотнения (сжимаемости)	$a$	МПа <sup>-1</sup>	0,033–0,054	0,025–0,038	0,010–0,028
Модуль деформации	$E$	МПа	0,5–2,8	2,5–5,1	4,8–7,4
Удельное сцепление	$c$	кПа	3–16	12–21	18–28
Угол внутреннего трения	$\phi$	град	11–20	16–20	18–29
Коэффициент фильтрации (по отношению к рассолу)	$K_\phi$	м/сут	0,0010–0,0142	0,0001–0,0019	0–0,0001



Рис. 4.10. Шламонакопитель в окрестностях Гомеля ([http://gomel.today/blogs/aleksey\\_golubev/130/](http://gomel.today/blogs/aleksey_golubev/130/), 2014)

Эти отходы часто в значительной степени загрязнены вредными веществами. При формировании шламохранилищ возникает проблема обеспечения устойчивости техногенных грунтов, которая может быть решена с помощью специальных технологий их укладки.

---

## Вопросы для самоконтроля

1. Как формируются насыпные промышленные грунты, чем они представлены?
2. В чем отличие зол от шлаков? Кратко охарактеризуйте состав и свойства зол и золошлаков.
3. В виде чего образуются металлургические шлаки, как они различаются?
4. Что такое модуль активности и модуль основности металлургических шлаков, для чего их используют?
5. Чему подвергаются металлургические шлаки при остывании и длительном хранении в отвале, на какие виды подразделяется их распад?
6. Что такое фосфогипс, из чего он состоит?
7. Дайте краткую характеристику гранулометрического состава, физических и физико-механических свойств фосфогипса.
8. Что такое лигнин, назовите его виды?
9. Дайте краткую характеристику состава и свойств лигнина.
10. Какой состав имеют твердые коммунальные отходы?
11. В чем особенности свойств техногенных грунтов полигонов и свалок твердых коммунальных отходов?
12. Что понимают под грунтами несанкционированных отвалов и свалок, чем будут определяться их свойства?
13. Что понимают под культурным слоем, каковы особенности техногенных грунтов культурного слоя?
14. Как формируются намывные промышленные грунты, чем они представлены?
15. Что представляют собой намывные гидроотвалы, как они подразделяются в зависимости от состава складированной породы и способов обвалования?
16. Чем определяется состав грунтов гидроотвалов и строение слагаемых ими массивов?
17. В чем заключаются специфические особенности техногенных грунтов золошлакоотвалов тепловых электростанций?
18. От чего зависят свойства зольных и золошлаковых материалов?
19. Что представляют собой хвостохранилища? Назовите источники формирования хвостов.
20. Кратко охарактеризуйте особенности состава и свойств грунтов хвостохранилищ.
21. Что такое шламы, где на территории Беларуси они получили развитие? Кратко охарактеризуйте их.

---

**Особенности инженерно-геологических изысканий на территориях распространения техногенных грунтов**

---

**5.1. Общие положения и содержание инженерно-геологических изысканий**

Согласно существующим строительным нормам и правилам Республики Беларусь (СНБ 1.02.01-96), а также России, Казахстана и других стран СНГ (СП 11-105-97 и др.), при проведении инженерно-геологических изысканий в районах распространения техногенных грунтов наряду с выполнением общих технических требований и правил производства изыскательских работ дополнительно устанавливаются:

- генезис техногенных грунтов, их распространение, мощность толщи и ее изменения по площади;
- время (или давность) образования толщи техногенных грунтов, степень завершенности процессов их самоуплотнения и упрочнения;
- особенности исходных материалов, способ их преобразования, перемещения и укладки;
- технологические особенности производства работ в горнотехнической, инженерной, сельскохозяйственной и других видах производственной деятельности, обусловившей формирование и накопление данного грунта;
- специфические свойства техногенных грунтов, в том числе токсичность некоторых их видов (хвосты, шламы и т.п.), пути возможного заражения окружающей среды, склонность пустой породы к самовозгоранию и т.п.;
- зависимость структуры, текстуры, гранулометрического состава намывных грунтов от их расположения на карте намыва или гидроотвале;
- топографические особенности участка изысканий в период, предшествующий образованию толщи техногенных грунтов;
- геологическое строение естественного основания, степень консолидации слагающих его грунтов под воздействием дополнительной нагрузки от веса массива техногенных грунтов;
- наличие и характер деформаций возведенных на техногенных грунтах зданий и сооружений, связанных с самоуплотнением грунтов, неравномерными осадками, а также рекомендации по учету основных особенностей техногенных грунтов при освоении территории и проектировании объектов строительства.

В *техническом задании на изыскания* в дополнение к требованиям общих правил производства работ обычно указывают информацию о способах, времени формирования, составе и других особенностях этих грунтов в связи с технологическими особенностями производства – источника их накопления.

На территориях распространения планомерно образованных оснований (намывом, отсыпкой, укреплением методами технической мелиорации) к техническому заданию на изыскания, как правило, прилагают материалы геотехнического контроля качества земляных работ. В задании также указываются намечаемые сроки начала строительства, его предполагаемая продолжительность и график возведения отдельных сооружений или комплексов.

При проведении инженерно-геологических изысканий на территориях распространения непланомерно образованных насыпных грунтов (отвалы и свалки грунта, отходы производства и бытовые отбросы) предпочтение следует отдавать полевым методам исследований грунтов в массиве (геофизические, зондирование и др.).

Содержание инженерно-геологических изысканий на территории распространения техногенных грунтов наряду с общими техническими требованиями к выполнению различных видов работ, в том числе комплексных исследований, устанавливают в зависимости от генезиса техногенных грунтов, степени завершенности процессов их самоуплотнения и упрочнения во времени и консолидации подстилающих грунтов. Ориентировочное время самоуплотнения насыпных техногенных грунтов оценивают в зависимости от их состава и способа укладки грунтов в насыпь (табл. 5.1), а намывных грунтов – от их состава и вида подстилающих грунтов естественного основания (табл. 5.2).

*Таблица 5.1. Ориентировочное время самоуплотнения насыпных техногенных грунтов (СП 11-105-97, 2000)*

Виды насыпных техногенных грунтов	Время самоуплотнения в зависимости от способа отсыпки, годы		
	планомерно возведенные насыпи	отвалы	свалки
Крупнообломочные	0,2–1	1–3	2–5
Песчаные	0,5–2	2–5	5–10
Глинистые	2–5	10–15	10–30
Шлаки, формовочные земли	–	2–5	–
Золы, колошниковая пыль	–	5–10	–

**Примечания.**

1. Планомерно возведенные насыпи создаются по специально разработанному проекту из однородных по составу грунтов, как правило, естественного происхождения путем отсыпки с соблюдением принятой технологии работ.

2. Отвалы формируются в результате неорганизованной отсыпки грунтов естественного и (или) искусственного происхождения.

3. Свалки формируются в результате неорганизованной отсыпки, с преобладанием грунтов искусственного происхождения, с включением строительного мусора, органических веществ и т.п.

4. Для грунтов в водонасыщенном состоянии продолжительность самоуплотнения увеличивается в 2–2,5 раза.

5. При постоянном действии вибрации и периодическом замачивании продолжительность самоуплотнения уменьшается в 2 раза.

Таблица 5.2. Ориентировочное время самоуплотнения намывных техногенных грунтов (СП 11-105-97, 2000)

Грунты естественного основания	Время самоуплотнения и упрочнения намывных грунтов, месяцы			
	пески крупные и средней крупности	пески мелкие	пески пылеватые	пески и супеси с содержанием органических веществ
Песчано-гравийные	0,5	1,0	2,0	3,0
Песчаные	1,0	2,0	3,0	6,0
Органоминеральные (торф, заторфованные грунты)	2,0	3,0	6,0	12,0
Глинистые	3,0	6,0	12,0	24,0

При проведении инженерно-геологических изысканий в условиях, когда самоуплотнение техногенных и (или) консолидация подстилающих грунтов не завершены и (или) когда техногенные грунты не рекомендуется использовать в качестве естественного основания, определение их свойств, как правило, не требуется. В этих случаях, а также при проектировании свайных фундаментов, прорезающих толщу техногенных грунтов, в процессе инженерно-геологических изысканий ограничиваются обычно установлением мощности и распространения техногенных грунтов.

Сбору и обработке помимо материалов изысканий прошлых лет и другой информации подлежат:

- сведения о хозяйственной деятельности, связанной с производством земляных работ, формированием отходов производства, свалок и т.п.;
- сведения и данные о способах и технологии образования планомерно намывных или отсыпанных грунтов и накопителей промышленных отходов, результатах геотехнического мониторинга, расположении карт намыва с указанием дамб обвалования, водосбросных колодцев, системы дренирования;
- акты подготовки основания перед выполнением земляных работ, акты приемки намывных, насыпных или преобразованных способами технической мелиорации грунтовых массивов;
- имеющиеся данные наблюдений за формированием толщи техногенных грунтов и изменением их свойств во времени;
- сведения и данные о региональном опыте строительства на техногенных грунтах в разных условиях их залегания, о состоянии и характере деформаций существующих зданий и сооружений на исследуемой территории.

---

Если между окончанием изысканий и началом проектирования разрыв во времени составляет более двух лет, возможность использования материалов изысканий требует специального изучения и анализа в связи с возможными изменениями в этот период состояния и свойств рассматриваемых грунтов под воздействием различных факторов, в том числе техногенных. Состав и объем дополнительных изыскательских работ по уточнению материалов инженерно-геологических изысканий в связи с давностью их получения устанавливаются по результатам анализа этих материалов и рекогносцировочного обследования исследуемой территории.

При **рекогносцировочном обследовании** наряду с общими техническими требованиями к выполнению данного вида работ дополнительно производят:

- описание условий залегания и давности образования техногенных грунтов насыпей, отвалов, свалок, участков складирования отходов горно-металлургического и химического производства, участков грунтов в естественном залегании, улучшенных трамбованием и другими способами;

- определение размеров массивов техногенных грунтов в плане и по глубине с использованием имеющихся топографических карт, составленных в период, предшествующий образованию толщи техногенных грунтов и после их формирования;

- установление для намывных техногенных грунтов мест поступления пульпы на карты намыва, положение прудов-отстойников, системы дренирования, мест сопряжения отдельных карт, выделение зон фракционирования при гидрозолоудалении (шлаковая, золошлаковая, зольная надводного и подводного намыва), характеристика насыпей при сливе металлургических шлаков.

Для насыпных грунтов следует по возможности выделять зоны с повышенным содержанием в грунтах крупных включений, затрудняющих проходку буровых скважин, — ковшевых остатков в откосах доменных шлаков, разрушенной футеровки печей и включений металла в отвалах сталеплавильных шлаков, обломков строительных конструкций в строительном мусоре и др.

В процессе рекогносцировочного обследования отмечают выходы и скопления производственных и сточных вод и других загрязняющих веществ и возможные пути их миграции.

При обследовании состояния существующих зданий и сооружений, деформированных в результате уплотнения и неравномерной осадки техногенных грунтов, осуществляют сбор сведений о конструкции сооружения, характере вертикальной планировки, системе и состоянии ливневой канализации и водонесущих инженерных сетей, мероприятиях, проводившихся при строительстве для улучшения свойств техногенных грунтов (уплотнение, удаление прослоек грунта с повышенным содержанием органических веществ и др.).

Виды и способы проходки горных выработок в толще техногенных грунтов должны обеспечивать возможность выявления и описания их состава,

---

структурных, текстурных и других особенностей, условий залегания, осуществление при необходимости количественной оценки их свойств.

Выбор вида горных выработок производят с учетом условий залегания, состава и состояния грунтов, наличия крупных включений и их крепости, наличия подземных вод и мощности техногенных отложений. Учитывая чрезвычайно широкий диапазон разновидностей техногенных грунтов, при бурении применяют все способы, регламентируемые нормативными документами.

Для детального изучения строения непланомерно образованных насыпных техногенных грунтов (отвалы и свалки грунта, отходы производства и бытовые отходы), повышения качества отбора монолитов и надежности характеристик грунтов, определяемых при лабораторных исследованиях, осуществляют проходку горных выработок в виде шурфов или дудок, а также расчисток естественных обнажений и искусственных выемок.

Размещение и количество горных выработок определяется требуемой детальностью изучения инженерно-геологических условий исследуемой территории на соответствующем этапе (стадии) разработки предпроектной и проектной документации.

Для качественного расчленения толщи техногенных грунтов на слои с различным составом, а также для наблюдения за изменением свойств насыпных и намывных грунтов во времени рекомендуется применять *геофизические методы исследований* – сейсмоакустику в комплексе с электроразведкой. Использование последней позволяет также выявлять и оконтуривать участки утечек воды из подземных коммуникаций при расположении объекта строительства на застроенной территории или в непосредственной близости от нее.

Состав геофизических исследований, объемы работ (сеть, количество точек), тип и размеры применяемых установок устанавливаются в программе изысканий, исходя из детальности изучения инженерно-геологических условий на соответствующем этапе (стадии) проектирования и особенностей геоэлектрического разреза.

Из общего комплекса полевых методов исследований свойств грунтов, используемых в обычных условиях, проводят статическое и динамическое зондирование, испытания грунтов штампами и прессиометрами, испытания на срез целиков грунта, измерение порового давления в грунтах.

Зондирование грунтов применяется для расчленения толщи техногенных грунтов на отдельные слои, характеризующиеся различной плотностью и прочностью, для оценки пространственной изменчивости свойств техногенных грунтов, наблюдения за уплотнением и упрочнением грунтов во времени, а также для определения положения кровли подстилающих грунтов, которые могут рассматриваться в качестве несущего слоя для свайного варианта основания проектируемых зданий и сооружений. Кроме того, проведение динамического зондирования позволяет оценить вероятность разжижения намывных песков при динамических нагрузках.

---

**Гидрогеологические исследования** выполняют, как правило, для определения водопроницаемости техногенных, подстилающих и вмещающих их грунтов в полевых условиях с целью оценки фильтрационных свойств, прогноза водоотдачи и уплотнения намывных грунтов, расчета консолидации толщи намывных грунтов и естественного основания. Опытно-фильтрационные работы следует осуществлять в соответствии с нормативными документами методом налива воды в шурф на небольших глубинах (до 5–6 м) или наливом воды в скважины (на больших глубинах). Также проводится оценка потенциальной возможности изменения гидрогеологических условий района (площадки) изысканий вследствие создания массива намывных грунтов.

При изысканиях на территории распространения техногенных грунтов рекомендуется осуществлять **стационарные наблюдения** за динамикой изменения физико-механических свойств техногенных и подстилающих их грунтов и за режимом подземных вод.

Наблюдения за динамикой изменения физико-механических свойств техногенных и подстилающих их грунтов по глубине и во времени (как правило, за их уплотнением и упрочнением) выполняют зондированием, геофизическими и лабораторными методами с целью определения плотности и влажности по образцам грунтов, отбираемых из специально пробуренных для этих целей скважин.

Наблюдения за режимом подземных вод осуществляют в соответствии с рекомендациями по их проведению в обычных условиях с учетом необходимости размещения наблюдательных пунктов на участках существующих техногенных источников замачивания грунтов.

При **лабораторных исследованиях** техногенных грунтов помимо характеристик, устанавливаемых в соответствии с общими требованиями, определяют следующие характеристики:

- склонность грунтов к распаду, разложению и другим физико-химическим преобразованиям (для шлаков, зол и шламов энергетической, металлургической и химической промышленности);
- размокаемость (для отвалов вскрышных пород, основу которых составляют алевролиты и аргиллиты);
- набухание (для пород, перегоревших в отвалах);
- пучинистость (золы и золошлаковые материалы);
- содержание органических веществ (свалки и бытовые отходы).

Деформационные и прочностные характеристики техногенных грунтов в лабораторных условиях определяют как для грунтов природной влажности, так и для грунтов в водонасыщенном состоянии.

Прочностные характеристики грунтов в процессе их консолидации устанавливают методом неконсолидированного быстрого среза на образцах грунтов, приведенных в водонасыщенное состояние без предварительного уплот-

---

нения (минимальные значения прочностных характеристик при водонасыщении).

Прочностные характеристики консолидированных техногенных грунтов определяют методом консолидированно-дренированных испытаний при оптимальной влажности на образцах с заданной плотностью и при полном водонасыщении.

Отбор образцов при опробовании техногенных грунтов следует выполнять с учетом условий их формирования. При создании массивов грунта методом гидромеханизации опробуют основные зоны в пределах каждой карты намыва (участок слива пульпы, пляж, места вблизи пруда отстойника и водосбросных колодцев). В отвалах шлаков металлургического производства необходимо учитывать, что слив шлаков происходит по кругу — начиная с внутреннего кольца, с постепенным наращиванием отвалов по окружности и в высоту, в связи с чем в пределах одного участка по глубине залегают разновозрастные грунты.

При *камеральной обработке* материалов инженерно-геологических изысканий и составлении технического отчета, как правило, приводятся данные по установленным нормативами характеристикам, в том числе результаты геотехнического контроля намывных или насыпных грунтов и накопителей промышленных отходов, по оценке степени самоуплотнения массива техногенных грунтов и степени консолидации подстилающих их грунтов, а также результаты прогноза изменений физико-механических свойств техногенных и взаимодействующих с ними природных грунтов во времени (уплотнение и упрочнение или распад и разложение).

## **5.2. Инженерно-геологические изыскания для разработки предпроектной документации**

При проведении инженерно-геологических изысканий для разработки предпроектной документации в районах распространения техногенных грунтов следует устанавливать:

- генезис и мощность техногенных грунтов и изменения мощности по площади;
- время (давность) образования техногенных грунтов, степень завершенности процессов их самоуплотнения, а также консолидации подстилающих грунтов;
- особенности исходных материалов (в том числе сведения о содержании органических веществ), способ их преобразования, перемещения и укладки;
- геологическое строение подстилающих грунтов и рельеф естественной поверхности в период, предшествующий образованию толщи техногенных грунтов;

---

- наличие и характер деформаций зданий и сооружений вследствие неравномерных осадок, связанных с самоуплотнением техногенных грунтов;

- рекомендации по учету основных особенностей техногенных грунтов при освоении территории и проектировании объектов строительства.

На площадках, сложенных планомерно образованными насыпными и намывными грунтами, для получения указанных сведений используют главным образом материалы проекта производства земляных работ и имеющиеся данные геотехнического контроля.

Инженерно-геологические изыскания для разработки предпроектной документации на территории распространения техногенных грунтов производят с детальностью (в масштабах) инженерно-геологической съемки в соответствии с общими техническими требованиями и правилами производства изыскательских работ. Инженерно-геологическое картирование исследуемой территории следует осуществлять, как правило, на основе сбора, анализа и обобщения материалов изысканий прошлых лет и использования других сведений об инженерно-геологических и гидрогеологических условиях исследуемой площадки (трассы). При отсутствии требуемых материалов для оценки физико-механических свойств различных видов техногенных грунтов допускается пользоваться обобщенными данными.

При недостаточности собранных материалов выполняют рекогносцировочное обследование в составе и объеме, необходимом для получения недостающих сведений и данных, или, при обосновании в программе изысканий, инженерно-геологическую съемку площадки в масштабах 1:25 000–1:5000 и полосы трассы линейных сооружений в масштабах 1:50 000–1:25 000.

Границы территории, сложенной толщей техногенных грунтов, и глубину изучения устанавливают исходя из необходимости выявления условий формирования и залегания грунтов, установления их мощности в соответствии с общими правилами производства изыскательских работ.

В рекомендациях, подлежащих учету при проектировании, следует приводить оценку процессов возможного самоуплотнения и упрочнения техногенных грунтов, консолидации подстилающих грунтов, дополнительных осадок за счет разложения органических включений и других причин, возможности применения массива техногенных грунтов в качестве естественного основания, целесообразности строительного освоения территории размещения объекта строительства, а также оценку мероприятий по устранению или ослаблению влияния негативных процессов. Приводятся также рекомендации по проведению дальнейших инженерно-геологических изысканий и необходимости выполнения специальных работ и исследований на последующих стадиях (этапах) проектирования.

### 5.3. Инженерно-геологические изыскания для разработки проекта

При инженерно-геологических изысканиях для проекта в районах распространения техногенных грунтов дополнительно устанавливают:

- условия распространения и залегания толщи техногенных грунтов, их приуроченность к определенным формам рельефа кровли подстилающих грунтов, характеристику особенностей поверхности площадки, связанных с формированием толщи грунтов способами гидромеханизации и отсыпки в отвалы; литологический состав и состояние подстилающих грунтов;

- способ формирования и давность образования массива техногенных грунтов и его отдельных участков, различающихся степенью завершенности процессов самоуплотнения, упрочнения, консолидации и прогнозируемой дополнительной осадки толщи техногенных грунтов и подстилающих их отложений;

- строение техногенной толщи грунтов в пределах предполагаемой сферы взаимодействия с сооружением с учетом выявленных условий формирования; характеристику инженерно-геологических элементов по показателям состава, состояния и свойств грунтов с оценкой их степени неоднородности; наличие в грунтах инородных включений и их характеристику;

- возможные изменения режима подземных вод в результате строительного освоения исследуемой территории, которые могут привести к замачиванию техногенных грунтов основания зданий и сооружений, ухудшению их физико-механических свойств и дополнительным осадкам; результаты стационарных наблюдений (если они проводились);

- результаты геотехнического контроля для намывных и насыпных грунтов и накопителей промышленных отходов;

- характер деформаций существующих зданий и сооружений, связанных с неравномерными осадками техногенных грунтов в основании с определением их причин; опыт строительства и эксплуатации объектов на техногенных грунтах.

Инженерно-геологические изыскания для обоснования проекта предприятий, зданий и сооружений территории распространения техногенных грунтов следует производить с детальностью (в масштабах) инженерно-геологической съемки в соответствии с общими техническими требованиями и правилами производства изыскательских работ. Инженерно-геологическое картирование исследуемой территории осуществляют, как правило, в масштабе 1:2000–1:1000.

При проектировании ответственных зданий и сооружений, основанием которых является непланируемо образованная толща техногенных грунтов (отвалы, свалки, хвостохранилища и др.), и при соответствующем обоснова-

---

нии в программе изысканий проводят детальные крупномасштабные съемки (1:500).

Границы территории, охватываемой инженерно-геологической съемкой, и глубину исследования толщи устанавливают с учетом имеющихся в непосредственной близости от изучаемой территории участков с источниками существующего и потенциально возможного техногенного воздействия.

Бурение скважин осуществляют, как правило, с проходкой всей толщи техногенных грунтов.

Горные выработки размещают с учетом особенностей строения и рельефа поверхности естественного основания техногенной толщи (наличие депрессий, засыпанных или замытых оврагов), технологического расположения карт формирования техногенных грунтов, в пределах которых предположительно ожидаются различия в свойствах техногенных грунтов.

Определение характеристик свойств грунтов, подстилающих техногенную толщу, выполняют как для обычных грунтов.

Полевые методы исследования грунтов, слагающих планомерно образованные насыпные и намывные территории, применяют как для обычных грунтов.

При исследовании непланомерно образованных насыпей, отвалов, свалок, хвостохранилищ, характеризующихся чрезвычайно высокой изменчивостью свойств грунтов и незакономерным их изменением в плане и по глубине, объем выполнения полевых опытных работ, как правило, увеличивают.

Испытания штампами основных разновидностей техногенных грунтов осуществляют не менее чем с трехкратной повторностью.

При испытании на срез целиков грунта определение показателей прочности в одной точке производят не менее чем при четырех вертикальных нагрузках.

Точки статического и динамического зондирования рекомендуется совмещать с пунктами прямых определений прочностных и деформационных свойств грунтов с целью последующей экстраполяции результатов испытаний грунтов на однотипные участки исследуемой территории, а также для возможного установления соответствующих корреляционных зависимостей.

При испытаниях грунтов на площадках, сложенных насыпными и намывными водонасыщенными грунтами, рекомендуется измерять поровое давление воды в грунтах при соответствующем обосновании в программе работ.

Определение водопроницаемости (коэффициента фильтрации) техногенных грунтов в зоне аэрации производят либо наливом воды в шурф (на небольших глубинах), либо наливом воды в скважины (на больших глубинах).

Стационарные наблюдения, как правило, проводят на участках с незавершенными процессами уплотнения и упрочнения техногенных и консолидации подстилающих грунтов, если есть основания предполагать, что они

---

могут повлиять на проектные решения или создать угрозу для устойчивости объектов строительства.

В заключении о результатах инженерно-геологических изысканий, выполненных на территории с распространением техногенных грунтов, дополнительно к основным сведениям следует приводить рекомендации по учету специфических особенностей техногенных грунтов при принятии проектных решений и по проведению дальнейших изысканий.

#### **5.4. Инженерно-геологические изыскания для разработки рабочей документации, а также в период строительства и эксплуатации зданий и сооружений**

При инженерно-геологических изысканиях для разработки рабочей документации в районах распространения техногенных грунтов на участках расположения отдельных зданий и сооружений дополнительно устанавливают:

- условия залегания и распространения техногенных грунтов на участке каждого отдельного здания и сооружения; границы распространения техногенной толщи различной мощности (в плане); наличие рыхлых прослоев грунтов и другие характерные литологические особенности, присущие техногенным грунтам;

- уточненные нормативные и расчетные характеристики состава, состояния и физико-механических свойств основных разновидностей техногенных грунтов по результатам лабораторных и полевых исследований с учетом прогнозируемых изменений на начало проектируемого строительства;

- степень завершенности процессов уплотнения и упрочнения толщи техногенных грунтов;

- характеристику грунтов (условия залегания, мощность, состав, состояние и свойства, степень консолидации под воздействием дополнительной нагрузки от веса массива техногенных грунтов), подстилающих техногенную толщу, на которые могут опираться (или заглубляться в них) свайные фундаменты;

- оценку возможности изменения режима подземных вод в процессе эксплуатации проектируемых и существующих зданий и сооружений;

- рекомендации по учету специфических особенностей техногенных грунтов при принятии проектных решений.

В пределах площадки строительства зданий и сооружений и непосредственно прилегающей к ней территории проводят инженерно-геологическую рекогносцировку с целью выявления деформаций, связанных с изменениями свойств техногенных грунтов, имевшими место после выполнения изысканий на предыдущей стадии, и выявления техногенных факторов (утечек из подземных коммуникаций, водоемов и др.), которые могут оказать влияние

---

на развитие осадков в толще техногенных и подстилающих природных грунтов исследуемой площадки.

Горные выработки размещают, как правило, по контурам и основным осям проектируемых зданий и сооружений в среднем через 15–25 м, но не более 50 м для планомерно образованных толщ и не более 30 м – для неплавномерно образованных. Количество горных выработок в пределах контура здания и сооружения принимают не менее четырех, т.е. двух на каждую секцию жилого дома (с учетом выработок, пройденных на предыдущих этапах изысканий). Глубину горных выработок устанавливают исходя из необходимости проходки всей толщи техногенных грунтов.

При инженерно-геологических изысканиях на планомерно образованных территориях, сложенных насыпными и намывными грунтами, глубину горных выработок определяют в соответствии с общими правилами производства изыскательских работ.

Для детального изучения строения техногенной толщи и опробования выделенных слоев грунтов для лабораторных исследований их свойств в пределах контуров проектируемых зданий и сооружений повышенного и нормального уровней ответственности одну-две горные выработки проходят шурфами с размещением их в местах с предполагаемыми резко различающимися показателями состава, состояния и свойств грунтов.

Показатели прочностных и деформационных свойств техногенных грунтов уточняют по результатам полевых испытаний грунтов штампами и испытаниями целиков на срез.

Пункты полевых испытаний грунтов, как правило, назначают на участках проектирования наиболее ответственных зданий и сооружений (тяжелых промышленных и многоэтажных гражданских зданий и др.), а также с наличием в техногенных грунтах крупных включений. Пункты испытаний располагают в 3–5 м от опробуемых горных выработок (главным образом шурфов).

Количество определений характеристик деформируемости и прочности полевыми методами устанавливают в зависимости от степени изменчивости характеристик грунтов.

На участках зданий и сооружений, проектируемых на свайных фундаментах, необходимо выполнять статическое зондирование для установления положения кровли грунтов, подстилающих техногенную толщу, и выделения в них слоев грунтов, которые могут служить для опирания и заглубления в них нижних концов свай и для обеспечения данных для проектирования свайных фундаментов.

Определение водопроницаемости техногенных грунтов в зоне аэрации осуществляют теми же методами, что и на стадиях разработки предпроектной документации или проекта с вычислением значений коэффициентов фильтрации исследуемых инженерно-геологических элементов.

---

Опробование толщ техногенных грунтов для определения их свойств в лабораторных условиях производят применительно к выделенным инженерно-геологическим элементам в пределах всей толщи, а также из залегающих ниже грунтов. В пределах каждого здания и сооружения (или их группы) опробуют, как правило, не менее 50% горных выработок (главным образом шурфов), но не менее двух выработок, а при значительной неоднородности грунтов опробование рекомендуется осуществлять во всех горных выработках.

Инженерно-геологические изыскания в период строительства и эксплуатации зданий и сооружений в районах распространения техногенных грунтов выполняются при необходимости осуществления контроля за состоянием грунтов в котлованах и других строительных выемках, а также для получения материалов и данных об изменениях физико-механических свойств техногенных грунтов в процессе строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что следует дополнительно устанавливать при проведении инженерно-геологических изысканий в районах распространения техногенных грунтов наряду с выполнением общих технических требований и правил производства изыскательских работ?
2. Что указывают в техническом задании на изыскания в районах распространения техногенных грунтов?
3. В зависимости от чего устанавливают состав инженерно-геологических изысканий на территории распространения техногенных грунтов наряду с общими техническими требованиями к выполнению различных видов работ, в том числе комплексных исследований?
4. Какие сведения помимо материалов изысканий прошлых лет и другой информации подлежат сбору и обработке при инженерно-геологических исследованиях в районах распространения техногенных грунтов?
5. Что наряду с общими техническими требованиями и правилами производства изыскательских работ дополнительно производят при рекогносцировочном обследовании территорий распространения техногенных грунтов?
6. Что должны обеспечивать виды и способы проходки горных выработок в толще техногенных грунтов при рекогносцировочном обследовании территорий их распространения?
7. С какой целью при проведении инженерно-геологических изысканий в районах распространения техногенных грунтов применяют геофизические методы исследований?
8. Для чего и с помощью каких видов работ при инженерно-геологических изысканиях в районах распространения техногенных грунтов выполняют гидрогеологические исследования?
9. Зачем при изысканиях на территории распространения техногенных грунтов и с помощью каких методов осуществляют стационарные наблюдения?

- 
10. Какие определения следует выполнять при лабораторных исследованиях техногенных грунтов помимо характеристик, устанавливаемых в соответствии с общими требованиями?
  11. Что следует устанавливать при проведении инженерно-геологических изысканий для разработки предпроектной документации в районах распространения техногенных грунтов?
  12. В каком масштабе на стадии разработки предпроектной документации осуществляют инженерно-геологическое картирование территории с техногенными грунтами?
  13. Что следует приводить в рекомендациях, подлежащих учету при проектировании на территориях распространения техногенных грунтов?
  14. Что дополнительно устанавливают при проведении инженерно-геологических изысканий для проекта в районах распространения техногенных грунтов?
  15. В каком масштабе на стадии разработки проекта осуществляют инженерно-геологическое картирование территории распространения техногенных грунтов?
  16. В чем заключаются особенности проведения полевых (бурение, зондирование, геофизические, гидрогеологические работы и др.) и лабораторных методов исследования территорий с наличием техногенных грунтов на стадии разработки проекта?
  17. Что следует дополнительно устанавливать при инженерно-геологических изысканиях для разработки рабочей документации в районах распространения техногенных грунтов на участках расположения отдельных зданий и сооружений?
  18. С какой целью в районах распространения техногенных грунтов в пределах площадки строительства зданий и сооружений и непосредственно прилегающей к ней территории проводят инженерно-геологическую рекогносцировку?
  19. Какие полевые и лабораторные методы исследований проводятся в районах распространения техногенных грунтов на стадии разработки рабочей документации, в чем их специфика?
  20. Как выполняются инженерно-геологические изыскания в районах распространения техногенных грунтов в период строительства и эксплуатации зданий и сооружений?

## **Опыт создания и использования техногенных грунтов в качестве оснований и среды для различных инженерных сооружений. Техногенные грунты как полезные ископаемые**

---

Техногенные грунты в практике отечественного градостроительства используются на протяжении уже нескольких десятков лет.

Пойменные, заболоченные территории, овраги, свалки и другие «бросовые земли» являются существенным градостроительным резервом. Их освоение во многих случаях позволяет получить более компактную структуру всего города, сократив при этом транспортные магистрали и сеть инженерных коммуникаций, улучшить городской ландшафт и микроклимат. При этом следует отметить, что, осваивая такие территории, нередко приходится сталкиваться с неблагоприятными гидрогеологическими условиями или со слабыми, малопрочными грунтами, залегающими в основании зданий и сооружений. Глубина залегания таких грунтов часто не позволяет осуществить устройство фундаментов ни с применением свайного варианта с прорезкой слабых грунтов, ни с их удалением и заменой, поскольку в этом случае фундаменты получаются очень дорогими и требуют значительных материальных, трудовых и временных затрат.

**Применение уплотненных (упрочненных) грунтов для возведения фундаментов.** В указанных условиях одним из наиболее эффективных способов возведения фундаментов является применение уплотненных (упрочненных) насыпных грунтов, а именно уплотненных песчано-гравийных и песчано-щебеночных подушек, которые перекрывают малопрочные и слабые грунты и играют роль основного несущего грунтового слоя под фундаментами. В качестве примеров проектирования и возведения фундаментов с применением уплотненных насыпных грунтов можно привести строительство ледовых дворцов в Барановичах, Орше и Молодечно [75].

В Барановичах строительство Ледового дворца предполагалось осуществить на отработанных полях фильтрации ТЭЦ и территории, примыкающей к ним. На период изысканий поля фильтрации, разделенные дамбами на карты, куда более 50 лет сбрасывалась пульпа с отходами производства ТЭЦ (песок, зола, шлаки, торфокрошка, известь), находились в обводненном состоянии. Значительная часть территории была подвержена затапливанию

поверхностными водами и заболачиванию. К осложняющим факторам также можно отнести наличие в основании слабозаторфованных глинистых грунтов мощностью 0,5–3,9 м и слабозаторфованных мергелей мощностью 0,7–3,5 м. Проектом было предусмотрено строительство целого комплекса зданий, который включал в себя здание Ледового дворца на 2000 мест, здание специализированного зала акробатики на 360 мест, здания котельной, очистных сооружений дождевых вод, резервуаров дизельного топлива и сливного устройства. Нагрузки на фундаменты проектировались в пределах 150–1950 кН для вертикальной составляющей, 5–55 кН – для горизонтальной составляющей, 2–105 кН·м – для момента.

В Орше в качестве строительной площадки был выбран участок, в пределах которого расположен бывший котлован, заполненный неуплотненными насыпными грунтами с остатками фундаментов, строительным мусором и другими отходами. В процессе изысканий были выявлены также полости и пустоты глубиной до 2,3 м. Согласно архитектурному проекту, запроектировано одноэтажное здание эллипсообразной формы в плане, с габаритными размерами 145,5×112,8 м, с переменной высотой от 17 до 30 м, из металлического каркаса. По краям ледовой арены предусмотрены двухэтажные пристройки, под зданием и полом ледовой арены – железобетонная плита. Пролет металлических ферм над ледовой ареной составляет 78 м, шаг – 6 м. Нагрузки на фундаменты проектировались до 3235 кН для вертикальной составляющей, до 278 кН – для горизонтальной составляющей, до 263 кН·м – для момента.

В Молодечно осложняющим фактором на выбранной строительной площадке послужило присутствие в несущем слое оснований на глубине 2,5–3,5 м от поверхности земли слабых суглинков мощностью до 3 м с модулем деформации 4–8 МПа. Конструктивная схема принималась аналогичной схеме Ледового дворца в Барановичах, но в отличие от последнего с пристройкой к универсальному спортивному залу здания бассейна с элементами аквапарка с глубиной заложения фундаментов на 3 м ниже, чем глубина заложения фундаментов зала.

На всех объектах были запроектированы столбчатые фундаменты из монолитного железобетона. Основные характеристики технического решения фундаментов следующие:

- давление по подошве фундаментов – не более 0,28 МПа, оптимально – 0,25–0,27 МПа;
- глубина заложения фундаментов – не более 2,5 м, оптимально – 1,8–2,3 м;
- насыпной грунт уплотненной песчаной подушки – песчаный, состоящий из песка крупного, среднего, мелкого (согласно СТБ 943-93) или их смеси без глинистых частиц (масса частиц размером менее 0,1 мм не должна превышать 10%);

■ характеристики уплотненных песчаных грунтов под фундаментами на всю их глубину должны быть не менее: плотность —  $17,4 \text{ кН/м}^3$ ; удельное сцепление —  $1 \text{ кПа}$ ; угол внутреннего трения —  $34^\circ$ ; модуль упругости —  $20 \text{ МПа}$  [75].

Под подошвой фундаментов выполнена уплотненная щебеночная подготовка толщиной  $0,1\text{--}0,15 \text{ м}$ . Толщина уплотненной песчаной подушки под фундаментами составила  $5\text{--}7 \text{ м}$  для дворца в Барановичах,  $1\text{--}5 \text{ м}$  — для дворца в Орше,  $1\text{--}2,6 \text{ м}$  — для дворца в Молодечно. Мощность уплотненной обратной засыпки под полы и конструкции ледовых полей составила  $2\text{--}2,3 \text{ м}$ . Толщина и характеристики уплотненных подушек подбирались таким образом, чтобы обеспечить требования строительных норм в части абсолютных и относительных (неравномерных) осадок фундаментов. Уплотнение песчаных подушек осуществлялось вибродинамическим методом с применением виброкатков как отечественного, так и зарубежного производства (рис. 6.1).



Рис. 6.1. Подготовка площадки строительства Ледового дворца с залом акробатики в Барановичах [75]

### **Использование намывных грунтов в строительстве зданий и сооружений.**

Нередко при инженерной подготовке строительных площадок, устраиваемых на «бросовых землях», возникает необходимость перемещения большого количества земляных масс, и наиболее рациональным способом, утвердившимся в настоящее время, является гидронамыв грунтов. Так, использование намывных грунтов на пойменных территориях в городах Белорусского Полесья, отличающихся сложностью инженерно-геологических условий, позволило возводить здания и сооружения (при определенных нагрузках, в зависимости от геологического разреза) как на ленточных, так и на свайных фундаментах.

Для наглядности рассмотрим опыт строительства на участке поймы р. Сож в Гомеле пяти домов различной этажности и жесткости (рис. 6.2), характер и величина осадок которых были детально изучены Е.Ф. Винокуровым и А.С. Карамышевым [48].

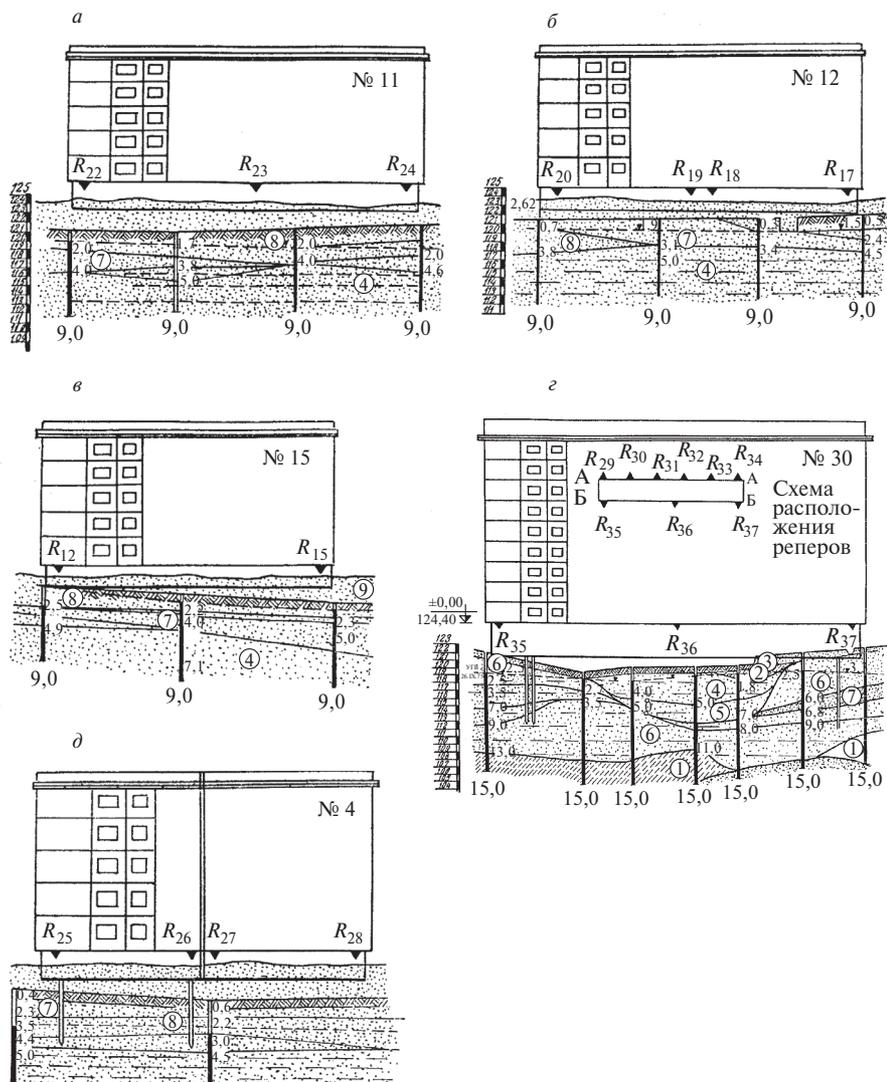


Рис. 6.2. Конструктивно-геологические разрезы под жилыми строениями на участке поймы р. Сож в Гомеле [48]:

*a* – *d* – описание дано в тексте; 1 – супесь текучая; 2 – супесь пластичная; 3 – насыпной грунт; 4 – песок пылеватый слабглинистый средней плотности, насыщенный водой; 5 – песок пылеватый средней плотности, насыщенный водой; 6 – песок пылеватый средней плотности, маловлажный; 7 – песок пылеватый плотный, насыщенный водой; 8 – песок мелкий плотный, от маловлажного до насыщенного водой; 9 – намывной грунт

Основанием фундаментов на рассматриваемой территории являются намывные пески, представленные главным образом песками мелкими средней плотности мощностью до 3,5 м, подстилаемыми современными аллювиальными отложениями поймы реки. В процессе строительства в целях изучения поведения пойменно-намывного основания под нагрузкой, а также для уточнения несущей способности основания были установлены специальные марки и осуществлено наблюдение за осадкой во времени. Наблюдения показали следующее (табл. 6.1).

Таблица 6.1. Осадки зданий, построенных на пойменно-намывных основаниях [48]

Номер дома	Продолжительность наблюдений, мес.	Номер осадочного репера и величина осадки, мм								Фактическая средняя осадка, мм	Осадка по расчету, мм
		R	S	R	S	R	S	R	S		
<i>5-этажные дома</i>											
11	30	22	24	23	24	24	19	–	–	22	9
12	30	17	32	18	36	19	33	20	34	34	10
15	30	12	16	13	17	14	–	15	16	16,5	10
4	48	25*	29*	26	48	27**	55**	28**	23**	38*	3*
										39**	10**
<i>9-этажный дом</i>											
<i>Ось А – А</i>											
30	2,5	29	42	30	48	31	51	33	47	46	35
		34	37	–	–	–	–	32	52	–	–
<i>Ось Б – Б</i>											
30	2,5	35	15	36	25	37	16	–	–	19	15

Примечание: \* – свайный фундамент; \*\* – ленточный фундамент.

Два пятиэтажных совершенно одинаковых крупнопанельных дома № 11 и № 12 с ленточными фундаментами построены на идентичных напластованиях пойменных отложений. Однако осадка фундамента дома № 12 оказалась в 1,5 раза больше, чем дома № 11 (рис. 6.2, а, б, 6.3, а, б). В то же время характер изменения осадок во времени показал, что основная осадка произошла в основном в период строительства и составила 80% средней осадки для дома № 11 и 55% для дома № 12. Такое различие в осадках домов объясняется наличием в основании фундамента дома № 11 плотных мелкозернистых песков, в то время как под фундаментом дома № 12 залегают пылеватые пески. Кроме того, под домом № 12 уровень грунтовых вод оказался значительно выше. После заселения осадки в обоих домах несколько увеличились, и затем наступило их резкое затухание. Практически консолидация закончилась через год.

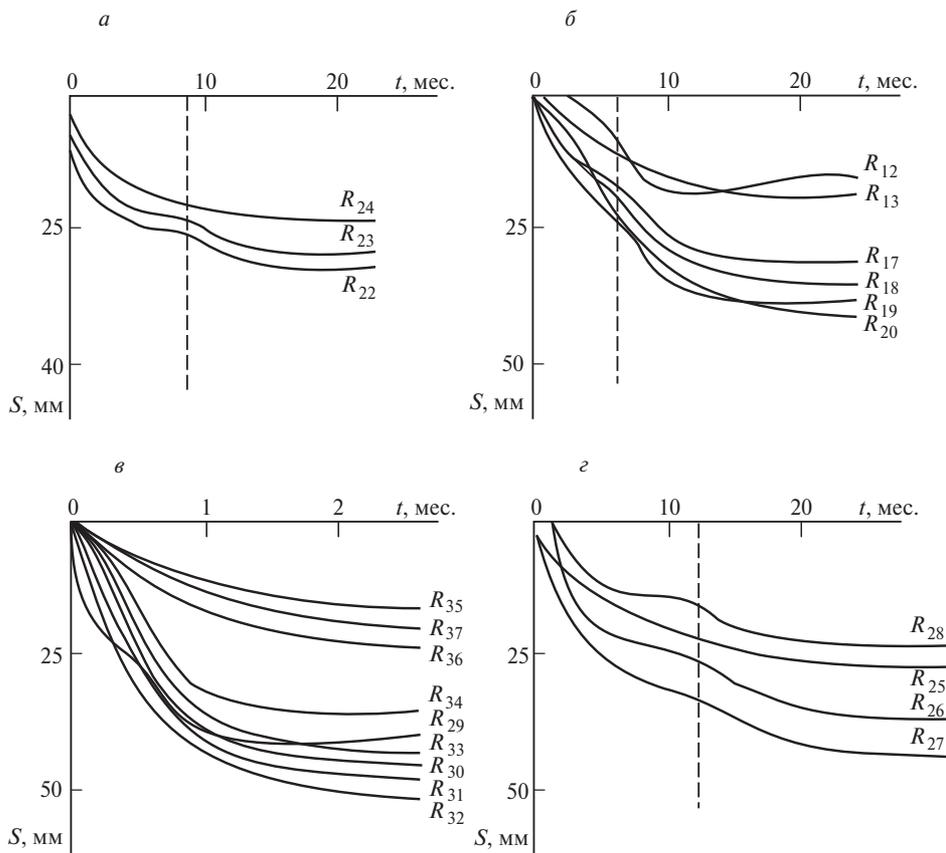


Рис. 6.3. Изменение во времени осадки фундаментов зданий на пойменно-намывных основаниях [48]: а – г – описание дано в тексте; пунктирная линия – граница осадок до и после заселения дома

Аналогичный характер протекания осадок наблюдался и у дома № 15 (рис. 6.2, в, 6.3, б). Особенностью этого дома является то, что по продольной оси фундамент одного угла дома опирается непосредственно на пойменный мелкий песок средней плотности, а другой угол опирается на 2,5-метровую толщу намывного песка, подстилаемого толщей плотных мелких и пылеватых песков. Абсолютная величина осадки здания составила 16 мм. При этом характер осадки фундамента дома в разных частях здания оказался совершенно одинаковым, несмотря на различия в отметках залегания грунтовых вод.

Девятиэтажный крупнопанельный дом № 30 построен на самой границе надпойменной террасы и поймы, характеризующейся большой неровностью напластования грунтов, особенно в поперечном направлении дома. Это обстоятельство вызвало необходимость устройства свайного фундамента, хотя

---

первоначальным проектом предусматривался фундамент ленточный. Дальнейшее наблюдение за осадкой дома подтвердило обоснованность таких опасений.

Анализ результатов наблюдений показал, что осадка фундамента по оси А – А в 3 раза превосходит осадку фундамента по оси Б – Б (рис. 6.2, з, 6.3, в), подтверждая тем самым значительные деформационные свойства отложений поймы, в частности пластичной супеси. За 2 месяца наблюдений общая осадка дома составила по оси Б – Б 18 мм, а по оси А – А – 46 мм.

Определенный интерес представляют наблюдения за осадкой дома № 4 (рис. 6.2, д, рис. 6.3, г), специально построенного на двух разных типах фундаментов: половина дома – на ленточном фундаменте, а другая – на свайном. Основанием фундаментов этого дома являются те же многослойные аллювиальные отложения поймы р. Сож, представленные в основном пылеватými плотными песками с различным содержанием глинистых частиц. Осадки двух половин дома отличаются тем, что деформация ленточного фундамента началась несколько раньше, при меньших нагрузках, чем свайного фундамента. В дальнейшем характер осадок обеих половин здания оказался одинаковым. К концу заселения произошли основные деформации, составляющие 80% полной осадки, после этого деформации, медленно затухая, прекратились в течение двух месяцев. Характерным является значительное увеличение осадок середины дома и большая разница значений осадок ленточного фундамента. Причиной этому является более значительная величина поверхностного слоя поймы, который был удален не полностью, а также местное понижение рельефа на этом участке, способствующее аккумуляции пылеватых фракций грунта при намыве [48]. После зачеканки шва, раскрывшегося при осадке дома, эксплуатация здания протекает нормально. В целом фактические осадки жилых домов, построенных на пойменно-намывных грунтах, оказались значительно меньше допустимых для данного класса зданий, следовательно, на указанные основания можно допускать более высокие нагрузки.

**Использование искусственно улучшенных естественных оснований.** Говоря о создании искусственно созданных грунтовых оснований, следует отметить и использование искусственно улучшенных естественных оснований. Эти основания в настоящее время создаются многими конструктивными методами, среди которых можно назвать вытрамбовывание котлованов и устройство грунтовых подушек, армирование грунтовых массивов буронабивными сваями, упрочнение массивов высоконапорной струйной цементацией и др.

Так, технология высоконапорной цементации грунтов нашла применение на ряде объектов в Минске, Гомеле, Жлобине и других городах при устройстве противofiltrационных ванн, подпорных стен, усилении основания фундаментов зданий при реконструкции, прокладке подземных коммуникаций и т.д.

---

Одним из перспективных в Беларуси методов искусственного улучшения грунтов оснований является комбинированный метод с применением песчано-гравийных (ПГС) и щебеночных (ЩС) свай, который заключается в сочетании глубинного уплотнения грунтов, поверхностного уплотнения и возведения грунтовой подушки, причем все эти действия производятся без перемещения грунтовых масс. Такая технология подготовки оснований одновременно улучшает как свойства грунтов, так и их работу в системе основание – фундамент [76]. Сама технология устройства геомассивов с применением ПГС и ЩС представляет собой последовательное осуществление подготовительных работ, устройства в основании тем или иным способом песчано-гравийных и щебеночных свай, отсыпки под пятно фундамента щебеночной подушки и поверхностного уплотнения основания укаткой или виброуплотнением с образованием единого сваегрунтового массива. По воспринимаемым вертикальным нагрузкам от надфундаментных конструкций рациональная область применения геомассивов из ПГС и ЩС очерчена следующим образом.

Столбчатые фундаменты на песчано-гравийных и щебеночных сваях в вытрамбованных скважинах выдерживают до 5000 кН на колонну, ленточные – до 600 кН/м по обрезу стены, в буровых – до 3000 кН и до 250 кН/м, в вибросформированных скважинах – до 2500 кН и до 250 кН/м соответственно. Кроме того, на рациональную область применения геомассивов из ПГС и ЩС в вытрамбованных и буровых скважинах ограничения накладываются грунтовые условия. Так, песчано-грунтовые сваи применяются в песчаных грунтах со степенью влажности от 0,1 до 0,8, глинах и суглинках с показателем текучести от 0,5 до 0,75 и супесях с показателем текучести от 0,25 до 1. Щебеночные сваи целесообразны в песчаных грунтах со степенью влажности от 0,1 до 0,8, глинах и суглинках с показателем текучести от 0,5 до 1 и супесях с показателем текучести от 0,25 до 1. Геомассивы из ПГС и ЩС в вибросформированных скважинах используются в любых рыхлых песчаных грунтах [77].

Если фундамент (монолитный или сборный, столбчатый или ленточный) промышленного здания или сооружения опирается на геомассив с применением ПГС и ЩС, проектную нагрузку на грунт основания можно передать при меньших размерах подошвы фундамента за счет уплотнения основания, повышения его жесткости, прочности и уменьшения деформативности. Помимо сплошных геомассивов, создаваемых для общеплощадного укрепления грунтов, устраивают одиночные, или кустовые (под столбчатые фундаменты), или ленточные (под ленточные фундаменты) геомассивы [76].

Научные исследования и накопленный опыт строительства промышленных объектов подтверждают эффективность ПГС и ЩС при возведении промышленных объектов с нагрузками до 5000 кН на фундамент. Одним из

---

ярких примеров практического применения данной технологии являются фундаменты главного производственного корпуса ОАО «Гомельстекло» и цеха ОАО «Спартак» [78].

#### **Подготовка основания для возведения гидротехнических сооружений (ГТС).**

Важным этапом в технологии строительного производства в условиях Беларуси является также подготовка основания для возведения гидротехнических сооружений (ГТС). Приемлемыми естественными основаниями для ГТС считаются такие, которые обеспечивают допустимые для принятых конструкций сооружений неравномерности осадок и горизонтальных смещений, а также их прочность и устойчивость. Если неоднородность основания не обеспечивает этих условий, то его укрепляют путем ряда инженерных мероприятий (инъекции цементных и других растворов, дренирование грунтовых вод, укрепление склонов, заделка крупных трещин и полостей бетоном и т.п.).

В последние десятилетия в стране для решения энергетической и производственной программ восстанавливаются, реконструируются и проектируются малые ГЭС. Так, уже действуют Витебская, Добромысленская и Полоцкая гидроэлектростанции в Витебской области, Яновская и Ольховская в Гродненской, Вилейская – в Минской, Тетеринская – в Могилевской области и др.

Все гидроузлы, созданные на реках Беларуси, относятся к типу приплотинных с гравитационными бетонными и земляными плотинами. Плотины низконапорные, высота напора на плотинах страны составляет 6–8 м. В результате подпора на реках созданы водохранилища с относительно небольшой площадью затопления пойменных территорий.

Выбор местоположения гидроузлов диктовался в основном экономическими соображениями (стремлением уменьшить площади затопления и подтопления, вывести их за пределы городов и промышленных комплексов и др.), но в ряде случаев определяющую роль играли инженерно-геологические условия. Например, в качестве основания бетонных сооружений створа Витебской ГЭС использованы верхнедевонские доломиты, Полоцкой, Гродненской и других ГЭС – четвертичные отложения. При оценке условий строительства основное внимание уделялось степени неравномерности деформаций естественных оснований, возможному нарушению устойчивости сооружения, потерям воды на фильтрацию и др. Ниже рассмотрим опыт строительства некоторых из указанных гидроэлектростанций.

**Витебская ГЭС** – крупнейшая гидроэлектростанция в Беларуси, сооружена на р. Западная Двина вблизи Витебска, введена в эксплуатацию в 2017 г. Это типичная русловая низконапорная гидроэлектростанция, включающая в себя бетонную водосбросную плотину, грунтовую плотину, здание ГЭС, однокамерный односторонний судоходный шлюз и распределительное устройство. Ее проектная мощность – 40 МВт, среднегодовая выработка – 138 млн кВт · ч.

В здании ГЭС установлены четыре горизонтальных капсульных гидроагрегата мощностью по 10 МВт каждый. Подпорные сооружения ГЭС образуют водохранилище площадью 8,82 км<sup>2</sup> и объемом 4,1 млн м<sup>3</sup>, максимальной шириной 420 м и максимальной глубиной 14 м.

По данным изысканий Витебского отдела РУП «Геосервис», на участке строительства склоны долины реки сложены аллювиальными песками II надпойменной террасы, днепровскими моренными суглинками и супесями, нерасчлененным комплексом березинско-днепровских водно-ледниковых отложений. В основании фундаментов сооружений гидроузла залегают верхнедевонские доломиты, характеризующиеся неоднородным составом, разной степенью трещиноватости и кавернозности, но обладающие достаточно высокими прочностными и деформационными показателями. Проявлений карста, связанных с близповерхностным залеганием доломитов, отмечено не было. В то же время по результатам изысканий инженерно-геологические условия площадки строительства были определены как ограниченно благоприятные. Основным неблагоприятным фактором послужили сложные гидрогеологические условия, обусловленные формированием единого напорного водоносного комплекса, приуроченного к водно-ледниковым отложениям и трещиноватой доломитовой толще. Последующее водопонижение из обводненной толщи доломитов способствовало успешному устройству котлована и дальнейшему сооружению плотины и гидроузла (рис. 6.4).

*Гродненская ГЭС* на р. Неман введена в эксплуатацию в августе 2012 г., установленная мощность – 17 МВт, имеет пять генераторов, каждый из которых способен работать с мощностью в 3,4 МВт. Мощность генераторов задается в зависимости от уровня воды и колеблется в течение года. Характерной



Рис. 6.4. Котлован на площадке строительства Витебской ГЭС (<http://ont.by/news>, 2014)

особенностью гидроузла Гродненской ГЭС является то, что при его эксплуатации практически полностью сохраняется расходный режим реки, так как станция работает только на бытовом стоке (без регулирования расхода воды в реке) с постоянным уровнем воды в водохранилище. На участке размещения ГЭС дно и склоны долины реки сложены отложениями ледникового комплекса – донной мореной, флювиогляциальными песками и супесями и ледниково-озерными образованиями.

Основанием бетонных сооружений является сожская морена, представленная плотными суглинками (плотность –  $2,29 \text{ г/см}^3$ ), находящимися в твердой консистенции. Согласно расчетам, осадка сооружений не превышает 10 см, что подтверждается проводимыми наблюдениями. В период строительства при проходке котлована опасения вызывало наличие в разрезе слабоуплотненных флювиогляциальных отложений, непосредственно контактирующих с водоносными аллювиальными песками. Однако применение обычного дренажа позволило благополучно пройти котлован. Притоки воды в котлован оказались значительно меньше расчетных (рис. 6.5).

Широкомасштабное проведение мелиоративных работ по осушению болот и заболоченных земель на территории Беларуси привело к существенным изменениям состава и свойств мелиорированных грунтов.

Так, исследованиями на одном из осушаемых болотных массивов в зоне сочленения пойм р. Припять и Уборть было установлено, что на осушенной пойме после проведения культуртехнических работ (планирование поверхности, глубокое перепахивание) вместо прежнего торфяно-гумусового почвенного горизонта образовался сильно опесчаненный слой с небольшим количеством гумуса. С увеличением мощности зоны аэрации режим влаги в



Рис. 6.5. Гродненская ГЭС на этапе строительства (<http://www.quickwiki.com>, 2011)

грунтах приобрел черты, аналогичные зоне аэрации территории прилегающей надпойменной террасы. При мощности зоны аэрации от 0,98 до 1,68 м влагозапасы в ней составляли 107,3–473 мм, а удельные – 0,83–3,36 мм/см. Распределение запасов влаги в вертикальном разрезе после осушения резко отличается от домелиоративного периода. В грунтах зоны аэрации четко выделяется три пояса влажности. Верхний пояс характеризуется неустойчивым режимом влаги (влажность грунтов здесь колеблется от 7,7 до 61%) и мощностью от 0,1 до 0,7 м. Для среднего пояса характерна устойчиво низкая влажность грунтов (2,7–16%). Его мощность в среднем составляет 0,5 м (в мае, июле – августе достигает 1,2 м). Нижний пояс – капиллярная кайма водоносного горизонта в теплый период, когда уровень грунтовых вод длительное время сохраняется на одной глубине, – имеет мощность 0,2–0,3 м. При спаде уровня мощность этого слоя увеличивается до 0,5 м, а при обильном снеготаянии или атмосферных осадках он сливается с верхним поясом. В капиллярной кайме влажность грунтов изменяется от 10–13% в верхней части до полной ее влагоемкости (35–39%) на уровне грунтовых вод.

Кроме того, этими же исследованиями было установлено, что в постмелиоративный период на участке происходил рост общей минерализации грунтовых вод (в 1,5–2,5 раза) главным образом за счет  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , а на более поздних стадиях осушения – и  $\text{SO}_4^{2-}$ . Такой рост концентрации элементов авторы исследований связывали не только с усилением подтока напорных гидрокарбонатных кальциевых вод, но и со снижением емкости поглощения торфяных почв с последующим выносом в воды  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , первоначально содержащихся в торфе преимущественно в ионообменной форме, с окислением органического вещества торфа и окислением сульфидных минералов железа, которые постоянно присутствовали в небольших количествах в торфе. Последние два процесса впоследствии способствовали появлению в грунтовых водах повышенного содержания  $\text{SO}_4^{2-}$ , тем самым придавая водам агрессивные свойства.

Следует отметить, что процесс накопления сульфат-иона в грунтовом водоносном горизонте является общим и наиболее ярким гидрогеохимическим процессом, протекающим в осушенных торфяниках. В то же время на мелиоративных системах, выбывших из эксплуатации и подвергшихся постепенному заболачиванию, прослеживается постепенное сокращение содержания  $\text{SO}_4^{2-}$  в грунтовых водах вследствие формирования торфяной залежи более восстановительной обстановки в условиях подъема уровня грунтовых вод.

**Применение в дорожном строительстве.** Широкое применение техногенные грунты получили в дорожном строительстве. Все линейные сооружения на территории Беларуси строились и строятся преимущественно на четвертичных дисперсных грунтах, причем нередко на грунтах, малопригодных для застройки территорий. Основным природным фактором, влияющим на прочность конструкций линейных сооружений, является влажность грунтов.

---

При увеличении влажности увеличивается их деформируемость и уменьшается прочность, а поскольку земляное полотно является основанием линейных сооружений, то это приводит к изменению прочности всех их конструкций. В этом случае обычной практикой служит упрочнение или улучшение грунтов основания сооружения. Еще в 1960-х – начале 1970-х гг. были изучены особенности укрепления полесских мелкозернистых песков и других наиболее характерных для Беларуси грунтов. Исследования того времени доказали возможность использования слабых грунтов (кроме текучих) независимо от вида покрытия, нагрузок и интенсивности движения. Материалы этих исследований вошли в союзный документ «Методические указания по проектированию земляного полотна на слабых грунтах», разработанный в СоюздорНИИ и ЦНИИС. В этот период БелдорНИИ впервые в Советском Союзе проведен комплекс экспериментально-теоретических исследований работы земляного полотна и дорожных одежд автомобильных дорог на болотах при статическом и динамическом действии транспортной нагрузки. Были разработаны «Методические рекомендации по учету воздействия транспортной нагрузки при проектировании автомобильных дорог на болотах» (Минск, 1972).

В первой половине 1970-х гг. впервые проведены исследования водно-теплового режима земляного полотна и дорожных одежд с целью учета особенностей природных условий при проектировании дорог. В 1980–1985 гг. широкое распространение получили укрепленные основания. Исследовалась возможность укрепления гравийно-песчаных материалов известью. Более эффективными для устройства укрепленных оснований оказались золы уноса ТЭЦ. Для укрепления верхней части земляного полотна и устройства конструктивных слоев дорожной одежды стали применять гидрофобизированные грунты. В качестве гидрофобизаторов использовались водные растворы ПАВ на основе первичных алифатических аминов  $C_{17}$ – $C_{20}$ . Была разработана технология устройства оснований из доломитового щебня месторождения «Руба».

В последние десятилетия для регулирования водно-теплового режима конструкции дорожного полотна и укрепления откосов земляных сооружений в качестве защитной прослойки и обратного фильтра стали использоваться геосинтетические материалы (рис. 6.6); нашел широкое применение при укреплении земляных сооружений и геотекстиль с семенами трав.

**Техногенные грунты как полезные ископаемые.** Некоторые виды техногенных грунтов могут выступать в качестве полезных ископаемых. К таким грунтам относится, например, фосфогипс. Его можно применять в качестве минерального удобрения или совмещать с органическими удобрениями, использовать для химической мелиорации кислых почв и солонцов, в производстве вяжущих веществ, извести, сульфата аммония и др. Существуют технологии изготовления из фосфогипса облицовочных материалов и стеновых изделий. Фосфогипс можно рассматривать и как источник получения редкоземельных



Рис. 6.6. Строительство дороги с использованием геосинтетического материала в Быховском районе Могилевской области

элементов. По подсчетам специалистов, в накопившихся отвалах фосфогипса ОАО «Гомельский химический завод», а это порядка 20 млн т, содержится в общей сложности 65 000 т редкоземельных элементов, среди них – церий, лантан, неодим, европий и иттрий [79].

Лигнин может служить котельным топливом, сырьем для получения гранулированного активного угля, пористого кирпича, удобрений, уксусной и щавелевой кислот, наполнителей (например, в производствах пластмасс), фенола и др.

Золошлаки – ценное минеральное сырье, обладающее широким диапазоном использования. Они активно применяются в дорожном строительстве: с 2009 г. в республике действует госстандарт СТБ 1957-2009 «Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические условия». Золошлаковые отходы используются как добавки и наполнители при производстве широкого спектра строительных материалов – цемента, бетона, растворов, кирпича и т.д. Весьма эффективным является применение золошлаков в производстве ячеистых бетонов и ячеистых золошлакобетонов с плотностью 0,3–0,5 т/м<sup>3</sup>. При этом может использоваться как автоклавная, так и безавтоклавная технология. Определенную ценность золошлаковые отходы имеют в сельском хозяйстве при производстве удобрений. Очень перспективной является глубокая переработка этих отходов с получением глинозема, кремнезема, концентрата железа и других материалов. Золошлаки получили использование в рекультивации последствий недропользования, а также в исправлении неудобий (засыпка оврагов, карьеров и болот).

---

## Вопросы для самоконтроля

1. В каких случаях на территории Беларуси используются техногенные грунты?
2. Применение каких техногенных грунтов при освоении неудобных земель в условиях Беларуси позволяет наиболее эффективно возводить фундаменты зданий и сооружений? Приведите примеры.
3. Как создание пойменно-намывного основания может влиять на конструктивные особенности зданий и сооружений? Приведите примеры.
4. Что представляет собой комбинированный метод с применением песчано-гравийных и щебеночных свай?
5. В чем заключается технология устройства геомассивов с применением песчано-гравийных и щебеночных свай?
6. Какова рациональная область применения геомассивов из песчано-гравийных и щебеночных свай?
7. Какие естественные основания для гидротехнических сооружений считаются приемлемыми?
8. Чему уделялось основное внимание при оценке условий строительства гидроэлектростанций на территории Беларуси?
9. К каким изменениям грунтов привели мелиоративные работы по осушению болот и заболоченных земель на территории Беларуси?
10. Что является основным природным фактором, влияющим на прочность конструкций линейных сооружений?
11. Какие способы создания техногенных грунтов и улучшения их свойств нашли применение в дорожном строительстве на территории Беларуси?
12. Какие из распространенных на территории Беларуси виды техногенных грунтов могут выступать в качестве полезных ископаемых? Приведите примеры их использования.

---

## ГЛОССАРИЙ

---

**Адсорбция** – поглощение вещества из газа или раствора поверхностью твердого тела или жидкости. Адсорбция в грунтах проявляется в том, что на поверхности или на грани кристаллов происходит увеличение концентрации молекул воды, а в результате этого – уплотнение окружающей частицу грунта водной оболочки. Поглотитель, вызывающий притяжение, называется адсорбентом, а поглощенное, или притягиваемое, вещество – адсорбатом. В грунтах адсорбентом являются частицы скелета, а адсорбатом – вода, находящаяся в порах. Адсорбционные силы – частный случай молекулярных сил. Они отличаются от других видов молекулярных взаимодействий, во-первых, тем, что действуют на поверхностях раздела фаз, и, во-вторых, тем, что происходят обычно между молекулами разного рода.

Взаимодействие частиц скелета грунта с водой осуществляется по поверхности контакта между ними, т.е. по поверхности частиц. Характер и интенсивность этих явлений (поверхностных явлений) в грунтах зависит в основном от степени дисперсности грунта и интенсивности действующих на единице поверхности сил. Чем выше степень дисперсности, тем больше поверхность частиц.

Удельной поверхностью грунта называют суммарную поверхность частиц, содержащихся в  $1 \text{ см}^3$  грунта, т.е. отношение поверхности частиц к их объему. Удельная поверхность очень быстро увеличивается по мере уменьшения размера частиц. Так, для шаров диаметром  $0,5 \text{ мм}$  удельная поверхность равна  $45 \text{ см}^2$ , при диаметре  $0,005 \text{ мм}$  –  $4500 \text{ см}^2$ . Для глинистых частиц, имеющих пластинчатую форму и размеры менее  $0,005 \text{ мм}$ , величина удельной поверхности достигает миллионов квадратных сантиметров. У монтмориллонита притяжение воды происходит по наружным и внутренним поверхностям кристаллической решетки, что еще больше увеличивает активную поверхность.

**Аммонизация лессовых грунтов** – метод, основанный на нагнетании в скважину газообразного аммиака при небольшом давлении ( $0,2\text{--}0,3 \text{ атм}$ ) в грунт через инъекторы или пробуренные скважины. Аммиак поглощается водными пленками лессового грунта и вступает в реакции обмена с обменным комплексом породы. Насыщенность обменного комплекса лессовых грунтов преимущественно ионами кальция определяет выделение высокодисперсного гидрата окиси кальция. Способ рассчитан на грунты с естественной влажностью не более  $16\text{--}18$ .

Реакция протекает в водных пленках, обволакивающих частицы и агрегаты, и завершается быстро. Один кубометр лессового грунта поглощает  $5\text{--}8 \text{ кг}$  газообразного аммиака, вытесняя  $10\text{--}17 \text{ кг}$  дисперсного гидрата окиси кальция в зависимости от величины емкости обмена. Выделение  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  происходит на поверхности частиц и в местах их контактов. Происходит как бы карбасное известкование. При аммонизации из-за повышения щелочности

---

в грунте увеличивается подвижность коллоидного кремнезема. В результате взаимодействия гидроокиси кальция и кремниевой кислоты образуется известково-кремнеземистое вяжущее. Это обуславливает стабилизацию грунта и предотвращает просадочность при его замачивании. Эффект аммонизации зависит от емкости обмена лесса: он тем выше, чем больше его обменная способность.

**Антропогенные образования** – твердые отходы производственной и хозяйственной деятельности человека, в результате которой произошли коренные изменения состава, структуры и текстуры природного минерального и органического сырья.

**Антропогенный (антропогенно образованный) грунт** – образовавшийся естественно-историческим образом (культурные слои) или созданный человеком разными способами грунт, представленный отходами или продуктами производственной и (или) хозяйственной деятельности, являющимися компонентами геологической среды.

**Армированные грунты (армогрунт)** – грунты различного состава, усиленные арматурными элементами из металла или пластмасс (полиэтилена высокого давления, полистирола, полипропилена и др.). В качестве арматуры применяют сетки, решетки, каркасы и стержни. Благодаря арматуре армированные грунты выдерживают значительно большие по сравнению с обычными грунтами растягивающие напряжения. Грунты армируют для повышения несущей способности слабых оснований, устройства искусственных откосов насыпей повышенной крутизны и для предотвращения плоскостной эрозии на открытых грунтовых поверхностях природных склонов и бортов искусственных выемок. Армированный грунт впервые был разработан французским инженером А. Видалем в 1960-х гг. в виде композитного материала, представляющего собой грунт с горизонтально уложенными в него плоскими армирующими полосами. Видаль описал механизм снижения в армогрунтовой конструкции нормальной составляющей скорости деформации грунта вследствие «псевдосцепления» частиц грунта с арматурой.

**Биогенные грунты** – грунты минерально-биологического состава с содержанием органических веществ от 10 до 50% (по массе). К ним относятся заторфованные грунты, торфы и сапропели. К заторфованным относятся пески, пылеватые глинистые грунты. Торф относится к органоминеральным грунтам, образовавшимся в результате естественного отмирания и неполного разложения болотных растений в условиях повышенной влажности при недостатке кислорода и содержащим 50% и более органических веществ. Сапропели – это пресноводные илы.

Свойства заторфованных грунтов и торфов зависят от содержания растительных остатков, степени их минерализации (разложения), структурной прочности, условий залегания (открытые или погребенные слои) и т.п.

---

Биогенные грунты обладают, как правило, большой сжимаемостью. Осадки заторфованных грунтов, залегающих под водой, протекают продолжительное время. С понижением уровня подземных вод происходит интенсивная минерализация этих грунтов, что вызывает увеличение и ускорение процесса сжимаемости.

Биогенные грунты служить основанием сооружения не могут – они требуют специальных мер подготовки. Нередки случаи, когда приходится строить на насыпных грунтах, которыми могут быть любые из вышеперечисленных. Характерная особенность этих грунтов – способность самоуплотняться во времени. Поэтому до начала строительства необходимо выяснить, когда была закончена засыпка и как она выполнялась.

**Битумизация грунтов** – создание противодиффузионных завес в трещиноватых скальных, гравийно-галечниковых и песчаных грунтах путем нагнетания в них под давлением битумных материалов. При горячей битумизации в скважины нагнетают разогретые до 150–180 °С битумную мастику или асфальтовый раствор, которые, попадая в трещины и поры, вытесняют воду, охлаждаются и превращаются в твердый малопластичный материал. При холодной битумизации в скважины нагнетают тонкодисперсные битумные эмульсии. Этот способ применяют для уплотнения песчаных грунтов. Перед нагнетанием битума в скважину в ее устье устанавливают тампонную трубу длиной около 2 м. Кольцевое пространство между стенкой скважины и тампонной трубой заполняют пеньковым тампоном толщиной 0,1–0,2 м и заливают цементным раствором. Битум в скважину нагнетают плунжерным насосом. Процесс битумизации считается законченным, когда при нагнетании расчетного количества битума и поддержании максимального давления в скважине в течение 2–4 ч расход его станет постоянным, не более чем на 5% превышающим расчетный.

**Блок** – совокупность скальных грунтов, отделенная от соседних блоков разрывами или трещинами (тектонический блок, оползневой блок, блок отдельности).

**Блок отдельности (отдельность)** – часть массива скальных грунтов, ограниченная трещинами. Отдельность горных пород – характерные формы блоков, глыб и обломков, на которые делятся горные породы при естественном и искусственном раскалывании. Форма отдельности обусловлена ориентировкой и частотой ограничивающих ее трещин; размеры различны (от нескольких сантиметров до нескольких метров в поперечнике). В осадочных горных породах распространены прямоугольная, кубическая, параллелепipedальная, плитчатая, призматическая, шаровая, чешуйчатая отдельности.

Образование отдельностей в осадочных горных породах связано главным образом с трещинами, возникающими в процессе диагенеза и катагенеза, а также при деформациях горных пород и их выветривании. В магматических

---

горных породах развиты призматическая (обычно шестиугольная), столбчатая, шаровая, прямоугольная, параллелепipedальная, плитчатая, матрацевидная отдельности, возникающие при охлаждении и сжатии лав и интрузивных тел. В метаморфических горных породах наиболее часто встречаются плитчатая, пластинчатая и ребристая отдельности, развивающиеся при деформациях горных пород. Частота трещин, ограничивающих отдельность, определяет возможность получения из массива блоков определенной формы и размеров, что важно при добыче штучного камня. Отдельность горных пород учитывают при ведении горных работ.

**Бытовые отходы** — отходы, образованные в результате бытовой деятельности человека. Твердые бытовые отходы (ТБО, бытовой мусор) — непригодные для дальнейшего использования пищевые продукты и предметы быта или товары, потерявшие потребительские свойства, наибольшая часть отходов потребления. ТБО делятся также на отбросы (биологические ТО) и собственно бытовой мусор (небиологические ТО искусственного или естественного происхождения), а последний часто на бытовом уровне именуется просто мусором. Состав твердых бытовых отходов зависит от многих факторов: уровня развития страны и региона, культурного уровня населения и его обычаев, времени года и других причин. Более трети ТБО составляют упаковочные материалы, количество которых непрерывно увеличивается. ТБО характеризуются многокомпонентностью и неоднородностью состава, малой плотностью и нестабильностью (способностью к загниванию). Источниками образования ТБО могут быть как жилые, так и общественные здания, торговые, зрелищные, спортивные и другие предприятия. В зарубежной практике названию «ТБО» соответствует термин «твердые муниципальные отходы» (Municipal Solid Waste).

**Вертикальное давление на образец** — отношение вертикальной нагрузки, приложенной к образцу, к площади его поперечного сечения.

**Вещественный состав грунта** — химико-минеральный состав вещества твердых, жидких, газовых и биотических (живых) компонентов грунта.

**Влагоемкость грунта** — способность грунта вмещать максимальное количество воды, обусловленное структурными особенностями и прежде всего той или иной категорией пористости. Грунты по влагоемкости подразделяют на влагоемкие (торф, глины, суглинки), слабовлагоемкие (мергель, лесс, супеси, глинистые песчаники, глинистые пески) и невлагоемкие (магматические, метаморфические, плотные осадочные). Различают следующие виды влагоемкости: гигроскопическую, максимальную молекулярную, капиллярную и полную.

**Гигроскопическая влагоемкость** — способность частиц грунта притягивать из воздуха парообразную влагу. Максимальная гигроскопическая влагоемкость определяется количеством влаги, которое порода способна поглотить

---

из воздуха с относительной влажностью 94%. Для песков гигроскопичность по массе в среднем около 1%, для лессов, илов – 5–10%, глин – 15–20%.

**Максимальная молекулярная влагоемкость грунта** – способность частиц грунта удерживать на своей поверхности максимальное количество гигроскопической и пленочной воды. Максимальную молекулярную влагоемкость следует определять как влажность грунтовой пасты после прессования ее до завершения водоотдачи грунта. На кусочек ткани кладут шаблон, смазанный вазелином, заполняют шаблон грунтовой пастой, избыток пасты удаляют. Шаблон поднимают, а полученную лепешку покрывают вторым кусочком ткани. На пластину кладут стопку фильтрованной бумаги из 20 фильтров диаметром 90 мм, лепешку в ткани, такую же стопку фильтровальной бумаги, пластину. Полученный таким образом пакет помещают под пресс и выдерживают под постоянным давлением в 1 МПа в течение 10 мин – для песков и супесей, 30 мин – для глин и суглинков. Освобождают грунт от пластин, фильтровальной бумаги, ткани, затем сгибают лепешку пополам. Ломкость ее показывает, что водоотдача завершена.

**Капиллярная влагоемкость** – максимальное количество воды, удерживаемой в капиллярных порах грунта. Капиллярная влагоемкость грунта численно равна влажности грунта (весовой или объемной) при его капиллярном насыщении, т.е. при наличии всех форм капиллярной воды. Капиллярная влагоемкость определяется только у грунтов, способных содержать капиллярную воду (тонкотрещиноватых и пористых скальных, крупнообломочных и песчаных). У глинистых грунтов (глин, суглинков, отчасти супесей) капиллярная вода может совсем отсутствовать либо имеет подчиненное значение по сравнению с осмотической и иными видами связанной воды. Капиллярную воду трудно определить отдельно, поскольку она формируется одновременно с осмотической и связанной водой. Наибольшей капиллярной влагоемкостью обладают грунты с максимальным содержанием мезо- и микропор капиллярного размера (0,001–1 мм) – пески, супеси, песчаники, алевролиты, высокопористые скальные грунты и т.д.

**Полная влагоемкость грунта** – величина, численно равная влажности (весовой или объемной) грунта при полном заполнении всех пор водой. Полная влагоемкость определяется для всех типов грунтов (скальных и дисперсных) и характеризует содержание в грунте всех категорий воды, включая свободную. Наибольшей полной влагоемкостью обладают грунты с наибольшими значениями открытой пористости. Для ненабухающих грунтов полная влагоемкость является постоянной величиной и, выраженная в объемных долях, совпадает с их пористостью или максимальным значением объемной влажности. Для набухающих грунтов полная влагоемкость является переменной величиной, зависящей от степени набухания грунта, так как при набухании происходит увеличение объема его порового пространства.

---

**Влажность грунта** — количество воды, содержащейся в порах грунта в условиях его естественного залегания. Величина естественной влажности является важной характеристикой физического состояния грунта, определяющей его прочность и поведение под нагрузками от сооружений. Особое значение влажность имеет для глинистых грунтов, резко меняющих свои свойства в зависимости от степени увлажнения. Естественная влажность является важным косвенным показателем, необходимым для вычисления объемного веса грунта, пористости, степени влажности и других характеристик.

Объемная влажность ( $W_n$ ), или объемное содержание жидкости, численно равна отношению объема воды (жидкости) в грунте ( $V_w$ ) к объему всего грунта ( $V_{tot}$ ), включая объем воды и газа:

$$W_n = \frac{V_w}{V_{tot}}.$$

Эта величина измеряется в процентах или долях единиц и может меняться от нуля для абсолютно сухого грунта до 100% (до 1 д.е.) для полностью водонасыщенного грунта.

Весовая влажность ( $W$ ), или весовое (массовое) содержание жидкости, численно равна отношению массы воды (жидкости) в грунте ( $m_w$ ) к массе сухого грунта ( $m_d$ ):

$$W = \frac{m_w}{m_d}.$$

Объемная и весовая влажности связаны между собой соотношением

$$W_n p_w = W p_d,$$

где  $p_d$  — плотность скелета грунта, г/см<sup>3</sup>;  $p_w$  — плотность воды, г/см<sup>3</sup>.

Величина весовой влажности также измеряется в процентах или долях единиц, но в отличие от объемной влажности имеет только нижнюю границу — 0% (для абсолютно сухого грунта).

Максимальные значения влажности отмечены у торфов — до 33 д.е. (или 3300%) и выше. В торфяной отрасли используется такой параметр, как влага, которая определяется как отношение массы воды к массе всего влажного грунта, и в этом случае значения этого показателя не превышают 1 д.е. (100%). В литературе встречаются описания торфяных грунтов, влажность которых изменяется от 90 до 1000% и более, т.е. интервал включает два разных параметра — влагу и влажность весовую, хотя даже для погребенного торфа такая нижняя граница значений влажности не типична.

---

В настоящее время среди методов определения влажности наибольшее распространение получил весовой метод, ставший стандартным: влажность грунта определяется высушиванием до постоянной массы при температуре 105 °С. Этим методом выполняются исследования грунтов для различных видов строительства на всех стадиях изысканий, за исключением тех случаев, когда грунты содержат значительное количество растительных остатков. Для того чтобы избежать окисления некоторых органических веществ во время сушки, требуются температуры сушки ниже, чем обычные (105 ± 5) °С, например (50 ± 2,5) °С, при которых может не произойти удаление всей воды.

**Влажность на границе раскатывания** — влажность грунта, при которой грунт находится на границе твердого и пластичного состояний.

**Влажность на границе текучести** — влажность грунта, при которой грунт находится на границе пластичного и текучего состояний.

**Водопонижение** — это комплекс мероприятий, призванных понизить уровень грунтовых вод в котловане или отвести их со строительной площадки.

Строительное водопонижение — искусственное понижение уровня грунтовых вод (УГВ) для создания более благоприятных и безопасных условий ведения горно-строительных работ. Под этим определением понимается отвод воды или ее удержание на расстоянии от места производства работ.

Расположение сооружений в котлованах, отметка дна которых ниже уровня грунтовых вод, приводит к необходимости применения строительного водопонижения. Работы по водопонижению имеют своей целью либо понижение естественного уровня грунтовых вод, либо отвод поступающей в котлован воды различными способами, обеспечивающими его защиту от затопления.

Следовательно, главной задачей строительного водопонижения является создание и поддержание на период строительства инженерного объекта требуемой зоны осушенных пород, что позволяет вести горнопроходческие и горно-строительные работы в относительно благоприятных условиях.

В том случае, если уровень подземных вод находится ниже прорезаемых котлованом горных пород, представляется возможным вести все подземное строительство насухо, т.е. полностью решается основная задача водопонижения. Но для этого нужно иметь точный геолого-гидрогеологический разрез с геофильтрационными параметрами водоносных горизонтов, которые залегают ниже отметки дна котлована, так как в сложных гидрогеологических условиях имеют место, например, напорные водоносные горизонты, напор которых может повредить однородность верхних слоев горных пород при уменьшении их толщины. Для того чтобы избежать появления непредвиденных ситуаций, связанных с действием подземных вод, необходимо в первую очередь сделать инженерно-гидрогеологические изыскания, и определить:

- геологическое и литолого-стратиграфическое строение участков работ;
- основные элементы тектонического строения района;
- гидрогеологические особенности осваиваемой территории (наличие водоносных горизонтов, их характер, условия питания и разгрузки, взаимосвязь водоносных горизонтов, направление движения подземных вод, их температуру и химический состав);
- фильтрационные свойства водовмещающих пород (водопроницаемость, коэффициенты фильтрации, пьезо- и уровнепроводность, коэффициент водоотдачи);
- гранулометрический состав рыхлых несвязных грунтов.

От тщательности подготовки и эффективности осуществления водопонижения зависит возможность проведения работ по устройству котлована и возведению в нем сооружений.

Водопонижение может быть предварительным (понижение УГВ на строительном участке осуществляется до начала горнопроходческих работ) и параллельным (водопонижение и проведение горной выработки осуществляется одновременно).

В зависимости от места проведения выделяют три способа водопонижения: поверхностный, подземный и комбинированный. При поверхностном способе водопонижения необходимое оборудование закладывается с поверхности земли, при подземном способе – из подземных выработок, а при комбинированном – с поверхности земли и из подземных выработок.

Поверхностный способ водопонижения получил самое большое распространение. Суть его заключается в том, что подземную воду откачивают из водопонижающих скважин, пробуренных с земной поверхности вокруг предусматриваемого контура горной выработки, чтобы к началу горных работ на участке водопонижения образовалась стойкая депрессионная воронка. Этот способ благодаря оперативности и практичности является достаточно эффективным и менее трудоемким в сравнении с подземным.

При подземном способе скважины бурят из забоя шахтного ствола либо из горных выработок, проведенных раньше либо специально для этой цели. Подземный способ эффективнее и лучше при всех гидрогеологических условиях, но отличается большой трудозатратностью подготовки, продолжительностью осуществления дренажных работ и необходимостью длительного поддержания горных выработок.

При комбинированном (комплексном) способе скважины бурят не только с земной поверхности, но и из забоя ствола шахты либо другой подземной выработки, т.е. этот способ являет собой сочетание двух предыдущих. При всем этом часть подземной воды из дренирующих водоносных горизонтов откачивают на земную поверхность с помощью скважин, а другая часть поступает в подземные дренажные выработки. Комплексную схему используют

---

обычно в тех ситуациях, когда при применении поверхностной схемы остаются обводненные зоны, не поддающиеся осушению с поверхности.

Подземный и комбинированный способы чаще всего применяются в горной отрасли, также их используют при строительстве линий метрополитенов.

Выбор того или иного способа водопонижения определяется:

- гидрогеологическими условиями;
- проектом организации строительства объекта;
- условиями городской застройки;
- расположением подземных коммуникаций и сооружений;
- технико-экономическими показателями.

Поверхностный способ может применяться при защите от обводнения как открытых, так и подземных выработок и осуществляется с помощью насосов, скважин с погружными насосами, эжекторных или легких иглофильтовых установок.

Поверхностный способ водопонижения может быть открытым и закрытым.

При открытом способе водопонижения сами котлованы могут иметь либо наклонные, либо вертикально закрепленные откосы. При защите откосов сплошными шпунтовыми, свайными стенками или стеной в грунте грунтовая вода может поступать в котлован только через его основание, где собирается в специально устроенных водосборниках, с которых с помощью необходимого оборудования откачивается.

При закрытом способе водопонижения вода откачивается из приемных колодцев, в результате чего происходит понижение УГВ вокруг котлована и уменьшение притока в котлован грунтовой воды.

Сам же процесс удаления грунтовой воды из водопроницаемых слоев закрытым способом может осуществляться различными методами. Условия, в которых происходит приток грунтовых вод в котлован при применении различных методов водоудаления, могут быть весьма различны. Если приток осуществляется под действием напора грунтовых вод и вода поступает в приемные колодцы под действием сил гравитации, то такой метод удаления воды называется *гравитационным*. Методы, при которых удаление воды из грунта производится дополнительным понижением давления, называются *вакуумными*. В мелкозернистых водопроницаемых грунтах движение грунтовой воды может быть усилено созданием постоянного электрического тока магнитного поля. Такой метод называется *электроосмотическим*.

В тяжелых грунтовых условиях (например, сильноводопроницаемые грунты) для защиты котлована от грунтовых вод применяются ограждение его со всех сторон водонепроницаемыми стенками и устройство днища.

Изоляция котлована может осуществляться устройством стенок-прорезей, буровых скважин и стенок, шпунтовых или инъекционных стенок. Для придания водонепроницаемости дну котлована может применяться способ

---

подводного бетонирования. В особых случаях, особенно при водопонижении в шахтах и при сооружении туннелей, для защиты котлованов используется метод замораживания грунта. В этом случае для защиты котлована от поступления грунтовых вод сооружается стенка из мерзлого грунта.

Каждый способ водоудаления имеет свою оптимальную область применения, которая определяется различными факторами. При выборе наиболее подходящего для конкретных условий способа водопонижения необходимо исходить из следующих условий:

- размеры и форма сооружаемого котлована;
- геологический и гидрогеологический профиль;
- водопроницаемость грунта;
- необходимая глубина водопонижения;
- время до начала водопонижения;
- продолжительность водопонижения;
- условия движения грунтовых вод до начала работ;
- наличие рядом с котлованом уже имеющихся сооружений;
- имеющиеся технические средства и установки для водопонижения.

Наиболее распространенным является поверхностный закрытый способ, а открытый чаще всего служит дополнением к нему. Вышеуказанные методы водопонижения (гравитационный, вакуумный и электроосмотический) зависят в основном от водопроницаемости грунтов. Таким образом, главным показателем, определяющим метод поверхностного закрытого водопонижения, является коэффициент фильтрации.

При выборе наиболее эффективного способа водопонижения необходимо учитывать не только физические свойства грунтов, но и технические, технологические и экономические аспекты решаемой задачи. Строительное водопонижение – это сложный и трудоемкий процесс, к которому необходимо подходить комплексно с учетом всех вышеуказанных условий. Поэтому строительное водопонижение на определенном инженерном объекте должно выполняться строго по специальному проекту, в котором находится вся необходимая информация.

**Водопроницаемость** – способность грунтов пропускать через себя воду.

Движение воды в грунтах под действием напора называется фильтрацией. Коэффициент фильтрации  $K_{\phi}$  (см/с, м/сут) является мерой водопроницаемости грунта и равен скорости движения воды при градиенте напора, равном единице. Величина  $K_{\phi}$  для различных грунтов изменяется в широких пределах.

Для большинства грунтов закон Дарси справедлив в довольно большом диапазоне скоростей фильтрации. Но в трещиноватых скальных и крупнообломочных грунтах в зависимости от градиента напора движение воды может происходить как в ламинарном, так и в турбулентном режиме.

---

Водопроницаемость грунтов определяется многими факторами. Из них наиболее важными являются геометрия порового пространства (размер пор, их извилистость и др.) и характер раскрытия трещин, а также свойства фильтрующейся жидкости. Размер пор и их форма, а также величина пористости в значительной степени определяются дисперсностью и минералогическим составом грунтов. Поэтому глинистые грунты обладают ничтожной водопроницаемостью по сравнению с гравелистыми и галечниковыми, а монтмориллонитовые глины имеют значительно меньшую водопроницаемость, чем каолинитовые. Низкую водопроницаемость глин и других глинистых грунтов используют в практических целях для создания из них водонепроницаемых экранов в плотинах, каналах и других сооружениях.

В неоднородных грунтах размер пор значительно меньше, чем в однородных, и, следовательно, их водопроницаемость меньше.

Минералогический состав определяет форму частиц и их взаимодействие с водой. У крупных фракций (пылеватых, песчаных) на водопроницаемость он влияет главным образом через форму частиц, обуславливающих размер и конфигурацию пор. Размер пор грунта зависит не только от диаметра и формы частиц, но и от их упаковки: для рыхлой упаковки частиц размер пор выше, чем для плотной упаковки, поэтому водопроницаемость грунтов зависит от их пористости. Влияние изменения пористости на водопроницаемость возрастает по мере увеличения дисперсности грунта.

Существенное влияние на водопроницаемость грунтов оказывают тектурные особенности. Наличие слоистости обуславливает неодинаковую водопроницаемость грунтовых толщ в горизонтальном и вертикальном направлениях. Наиболее ярко фильтрационная анизотропия выражена у слоисто-ленточных глинистых пород, у которых водопроницаемость в горизонтальном направлении во много раз выше. Лессовые грунты также обладают ярко выраженной фильтрационной анизотропией.

Водопроницаемость лессовых грунтов в вертикальном направлении часто в 5–10 (до 20–30) раз выше, чем в горизонтальном. Это обусловлено наличием трубчатых вертикальных макропор.

Процессы, ведущие к изменению размера пор и их количества, влияют на водопроницаемость грунтов. Так, в результате нарушения структуры грунтов, особенно глинистых и лессовых, и последующего их уплотнения происходит значительное уменьшение водопроницаемости, а также выравнивание ее в разных направлениях.

Водопроницаемость глин при прочих равных условиях (одинаковый минералогический состав, дисперсность, плотность) в значительной степени зависит от состава и концентрации электролитов в фильтрующейся воде и состава обменных катионов. Водопроницаемость глин по отношению к электролитам в сильной степени зависит от вида глинистого минерала. По степе-

---

ни влияния электролитов на изменение проницаемости минералы располагаются в следующем порядке (в порядке убывания влияния электролитов): монтмориллонит, гидрослюда, каолинит. Влияние концентрации фильтрующегося через грунт электролита уменьшается по мере уменьшения количества глинистых частиц.

**Геофизические методы исследований** – группа методов, основанных на изучении естественных и искусственно создаваемых физических полей (электрических, акустических и др.), физических свойств горных пород, пластовых флюидов, содержания и состава различных газов в буровом растворе. Применяются для изучения геологического разреза скважин и массива горных пород в околоскважинном и межскважинном пространствах, контроля технического состояния скважин и разработки нефтяных и газовых месторождений.

**Гидрогеологические исследования** – совокупность специальных гидрогеологических исследований, проводимых для проектирования промышленных и гражданских сооружений, мероприятий по защите горных выработок от воды, а также для целей водоснабжения. Первоначально собираются данные (карты различных масштабов, разрезы, таблицы и выписки) метеорологических, гидрологических, геоморфологических, геологических, гидрогеологических и других предшествующих исследований. На следующем этапе выполняются гидрогеологическая съемка, гидрогеологическое опробование, в результате которых составляются гидрогеологическая карта и разрезы, сопровождаемые геологическим и гидрогеологическим описанием района.

**Гидроотвал** – гидротехническое сооружение, предназначенное для размещения грунтов и различных материалов, поступающих в виде пульпы (гидросмеси).

В зависимости от рельефа основания различают гидроотвалы овражные и балочные, создаваемые путем возведения насыпной или намывной дамбы (плотины), перегораживающей овраг или балку; равнинные, расположенные на ровной местности или с небольшим уклоном, в пойме реки, обвалование которых производится с четырех или трех сторон; косогорные; котлованные и котловинные, расположенные соответственно в выработанных пространствах карьеров и в естественных понижениях.

В зависимости от состава складированной породы и способов обвалования гидроотвалы подразделяют на три типа. В гидроотвалы первого типа подаются пылевато-глинистые породы, а дамба обвалования возводится из привозного грунта на всю высоту. В гидроотвалы второго типа намывают песчаные или песчано-глинистые породы, при этом дамбы обвалования сооружают из намывного грунта. Гидроотвалы третьего типа отличает складирование пород, содержащих песчаные и большей частью пылевато-глинистые частицы; дамбы обвалования поярусно отсыпают из привозного грунта. По приемной

способности выделяют четыре категории гидроотвалов: I – свыше 5 млн м<sup>3</sup>, II – от 2 млн до 5 млн, III – от 1 млн до 2 млн, IV – до 1 млн м<sup>3</sup> в год.

По высоте различают гидроотвалы низкие (до 10 м), средние (10–30 м) и высокие (более 30 м).

Гидроотвалы подразделяют по классам капитальности. При этом учитывают условия их расположения по рельефу местности, характеристику укладываемых пород и пород основания, наличие водохранилища и его вместимость, интенсивность намыва, конечную высоту отвальных уступов, положение гидроотвала относительно жилых, промышленных объектов и источников водоснабжения. С учетом этих факторов гидроотвалы также различают по классам ответственности.

Сооружение гидроотвалов включает создание дамб начального обвалования, водозаборных, водосбросных устройств, дренажных сооружений. При небольших расходах поверхностных вод (менее 2 м<sup>3</sup>/с) пропуск их осуществляется через водосбросные устройства гидроотвала. Паводковые и ливневые воды (при больших расходах) или протекающие по территории гидроотвала небольшие реки отводят с помощью специальных водопропускных сооружений.

Емкость гидроотвала (геометрический объем  $W_{\text{г}}$ , м<sup>3</sup>) на стадии технико-экономического обоснования, а также технорабочего проектирования (гидроотвал первого класса) определяется по формуле

$$W_{\text{г}} = W_{\text{к}} K_{\text{гр}} K_{\text{h}} + W_{\text{п}} + W_{\text{д}},$$

где  $W_{\text{к}}$  – объем грунта, разработанного в карьере, м<sup>3</sup>;  $K_{\text{гр}}$  – коэффициент разрыхления-набухания, учитывающий состав карьерного грунта (для легких суглинков – 1,05, средних – 1,1, тяжелых – 1,15);  $K_{\text{h}}$  – коэффициент, учитывающий высоту гидроотвала;  $W_{\text{п}}$  – объем прудка гидроотвала, м<sup>3</sup>;  $W_{\text{д}}$  – дополнительная емкость для аккумуляции стока водосбора, м<sup>3</sup> (определяется проектом).

Для гидроотвалов второго и третьего классов при технорабочем проектировании емкость гидроотвала определяется из выражения

$$W_{\text{г}} = W_{\text{к}} (m_{\text{п}} K_{\text{п}} + m_{\text{я}} K_{\text{я}}) + W_{\text{п}} + W_{\text{д}},$$

где  $m_{\text{п}}$  – количество грунта, уложенного в упорной и промежуточной призмах, д.е.;  $m_{\text{я}}$  – количество грунта, уложенного в ядре гидроотвала и представленного обычно пылевато-глинистыми фракциями, д.е.;  $K_{\text{п}}$  – коэффициент набухания грунта упорной и промежуточных призм по отношению к карьерному грунту;  $K_{\text{я}}$  – коэффициент набухания грунта ядра гидроотвала по отношению к карьерному грунту.

Технологию гидроотвалообразования, способы намыва выбирают с учетом характеристики укладываемых грунтов, рельефа основания, класса ответственности гидроотвала, объемов работ и характера дальнейшего исполь-

зования гидроотвала. Намыв гидроотвала производится по схеме «от внешнего откоса – к прудку», чтобы обеспечить осаждение наиболее крупных фракций у внешнего откоса. Намыв по схеме «от берега – к откосу» может быть применен, когда дамба гидроотвала возведена на полную высоту насыпкой грунта. При сооружении гидроотвала в основном производят безэстакадный, эстакадный, пионерно-торцевой намывы и их различные разновидности. Пионерно-торцевой намыв используется для складирования породы в воду, овраги, выемки, а также для создания узкопрофильных сооружений. Пульпа выливается из торца трубопровода, который по мере намыва площадки удлиняется. В зависимости от состава грунта трубопровод располагают на эстакадах или непосредственно на намывом грунте (при подаче песчаного или глинистого грунта в виде кусков и комьев).

Гидроотвалы располагаются в границах земель, малопригодных для сельскохозяйственных целей: на заболоченных участках, в балках, оврагах, выработанных пространствах карьеров. Рекультивация гидроотвалов ведется в основном в сельскохозяйственных и лесохозяйственных направлениях. На восстанавливаемой территории для уменьшения усадки в ядре гидроотвала, а также предотвращения заболачивания намыв производят послойно – слой мелкозернистых пород (глины, суглинки) перекрывают слоем крупнозернистого песчаного грунта. Последующее покрытие поверхности плодородным слоем почвы производится обычным или гидравлическим способом. Особую опасность представляют аварии на гидроотвалах: прорыв ограждающих дамб, перелив воды через гребень дамбы прудка-отстойника (в результате закупорки водосбросных трубопроводов). Борьба с авариями заключается в понижении уровня воды в гидроотвале путем ввода в работу резервных водосбросных колодцев и насосных станций, в возведении аварийной дамбы ниже прорванной и др. К отвалам, возводимым гидравлическим способом, относят также хвостохранилища (шламоохранилища), золоотвалы и др.

**Гидротехнические сооружения** – инженерное или естественное сооружение для использования водных ресурсов или для борьбы с разрушительным действием воды.

Гидротехнические сооружения бывают общие и специальные. Общие применяются почти при всех видах использования вод (водоподпорные, водопроводящие, регуляционные, водозаборные и водосбросные). Водоподпорные гидротехнические сооружения создают напор или разность уровней воды перед сооружением и за ним. К ним относятся плотины и дамбы (или валы). Плотины – важнейший и наиболее распространенный тип гидротехнических сооружений. Они перегораживают речные русла и создают разницу уровней по руслу реки. Перед плотиной вверх по водотоку накапливается вода и образуется искусственное или естественное водохранилище. Участок реки между двумя соседними плотинами на реке или участок канала между двумя

---

шлюзами называется бьефом. Верхним бьефом плотины является часть реки выше подпорного сооружения, а часть реки ниже подпорного сооружения называется нижним бьефом. Водоохранилища могут быть долговременными или кратковременными. Долговременным искусственным водоохранилищем является, например, водоохранилище верхнего бьефа плотины гидроэлектростанции, оросительной системы. Кратковременные искусственные плотины создаются для временного изменения направления течения реки при строительстве ГЭС или других гидротехнических сооружений. Дамбы отгораживают прибрежную территорию и предотвращают ее затопление при паводках и половодье на реках, при приливах и штормах на морях и озерах.

Водопроводящие гидротехнические сооружения (водоводы) служат для переброски воды в заданные пункты: каналы, гидротехнические туннели, лотки, трубопроводы. Некоторые из них, например каналы, из-за природных условий их расположения, необходимости пересечения путей сообщения и обеспечения безопасности эксплуатации требуют устройства других гидротехнических сооружений, объединяемых в особую группу сооружений на каналах (акведуки, дюкеры, мосты, паромные переправы, ворота, водосбросы, шугосбросы и др.). Регуляционные (выправительные) гидротехнические сооружения предназначены для изменения и улучшения естественных условий протекания водотоков и защиты русел и берегов рек от размывов, отложения наносов, воздействия льда и др. При регулировании рек используют запруды, струенаправляющие устройства (полузапруды, щиты, дамбы, ограждающие валы, траверсы, донные пороги и др.), берегоукрепительные сооружения, ледонаправляющие и ледозадерживающие сооружения.

Водозаборные (водоприемные) гидротехнические сооружения устраивают для забора воды из водисточника и направления ее в водовод. Кроме обеспечения бесперебойного снабжения потребителей водой в нужном количестве и в требуемое время они защищают водопроводящие сооружения от попадания льда, шуги, наносов и др. Водосбросные гидротехнические сооружения служат для пропуска излишков воды из водоохранилищ, каналов, напорных бассейнов и пр. Они могут быть русловыми и береговыми, поверхностными и глубинными, позволяющими частично или полностью опорожнять водоемы. Для регулирования количества выпускаемой (сбрасываемой) воды водосбросные сооружения снабжают гидротехническими затворами. При небольших сбросах воды применяют также водосбросы-автоматы, автоматически включающиеся при подъеме уровня верхнего бьефа выше заданного. К ним относятся открытые водосливы (без затворов), водосбросы с автоматическими затворами, сифонные водосбросы.

Специальное гидротехническое сооружение возводится для какой-либо одной отрасли водного хозяйства: для водного транспорта – судоходный шлюз, судоподъемник, причал, плотоход, лесоспуск (бревноспуск), маяк и

другие сооружения по обстановке судового хода, различные портовые сооружения (молы, волноломы, пирсы, причалы, доки, эллинги, слипы и др.); для гидроэнергетики – здание ГЭС, напорный бассейн и др.; для гидромелиорации – оросительный или осушительный (магистральный или распределительный) канал, дренаж, шлюз-регулятор на оросительной и осушительной системе, коллектор и др.; для водоснабжения и канализации – каптаж, насосная станция, водонапорная башня и резервуар, пруд-охладитель и др.; для рыбного хозяйства – рыбоход, рыбоподъемник, рыбоводный пруд и др.; для социального устройства – бассейны, аквапарки, фонтаны.

В ряде случаев общие и специальные гидротехнические сооружения совмещают в одном комплексе, например водосброс и здание гидроэлектростанции (так называемая совмещенная ГЭС) или другие сооружения для выполнения нескольких функций одновременно. При осуществлении водохозяйственных мероприятий гидротехнические сооружения, объединенные общей целью и располагаемые в одном месте, составляют комплексы, называемые узлами гидротехнических сооружений или гидроузлами. Несколько гидроузлов образуют водохозяйственные системы, например энергетические, транспортные, ирригационные и т.п.

В зависимости от места расположения гидротехнические сооружения могут быть морскими, речными, озерными, прудовыми. Различают также наземные и подземные гидротехнические сооружения. Влияние гидротехнических сооружений, особенно водоподпорных, распространяется на обширную территорию, в пределах которой происходит затопление отдельных земельных площадей, подъем уровня грунтовых вод, обрушение берегов и т.п.

**Глинизация** – искусственное заполнение глиной пустот и крупных трещин в массиве горных пород (карстовых известняков, доломитов и т.п.). Предназначена для создания гидроизоляционных завес при строительстве горных выработок и подземных сооружений различного назначения. Осуществляется при больших объемах пустот с целью сокращения расхода более дорогостоящих тампонажных материалов (например, цемента).

**Глубинное виброуплотнение** – метод, применяемый для уплотнения рыхлых песчаных грунтов естественного залегания, а также при укладке насыпных несвязных грунтов, устройстве обратных засыпок и т.п.

Метод основан на способности грунта переходить в плотное состояние под влиянием вибрации. Он получил распространение при устройстве песчаных оснований на строительстве сооружений различного назначения. Сущность его состоит в выполнении гидровибрационной установкой следующих операций рабочего цикла:

1. Вибратор, подвешенный к несущей конструкции установки, располагают вертикально над местом погружения, затем включают его электродвигатель и подают к нижнему соплу воду под давлением 0,3–0,6 МПа.

---

2. Под действием собственного веса вибратор погружается на заданную глубину. В зависимости от режима работ вибратора, его характеристики и свойств грунта скорость погружения составляет 1–2 м/мин. В процессе погружения вибратора грунт предварительно уплотняется, что вызывает его осадку с образованием воронки вокруг места погружения.

3. После погружения вибратора на заданную глубину нижнее сопло для подачи воды следует перекрывать, т.е. направлять воду через верхнее сопло. Воронку вокруг места погружения засыпают песком.

4. По мере поступления воды через верхнее сопло вибратор извлекается остановками через каждые 30–50 см. Возникающую в процессе подъема вибратора воронку в грунте засыпают бульдозерами или другими механизмами.

При строительстве жилых и промышленных зданий и сооружений на слабых водонасыщенных грунтах во многих случаях целесообразно и экономически выгодно применять предпостроечное уплотнение таких грунтов временной нагрузкой с использованием вертикальных дрен.

Технология уплотнения грунтов временной нагрузкой с применением песчаных дрен заключается в следующем. Производятся планировка площадки и устройство дренирующей подушки. Затем в грунт виброустановкой погружается обсадная труба (длиной 10 м и диаметром 426 мм) с инвентарным наконечником. В погруженную на заданную глубину трубу погрузчиком-бульдозером через бункер загружается песок-заполнитель с одновременной заливкой его водой и вибрированием трубы. После заполнения песком трубу следует извлекать из грунта, оставляя в уплотненном грунте столбик песка (дрену), и виброустановка должна перемещаться на новую точку для изготовления новой дрены.

По окончании изготовления дрен на дренированную площадь следует завести грунт, который бульдозером должен укладываться в слой расчетной толщины, выполняющий роль временной обжимающей нагрузки уплотняемого массива. По окончании уплотнения, длящегося 3–5 месяцев, временная нагрузка должна быть удалена и можно приступать к возведению фундаментов.

Для эффективного контроля качества изготовления дрен применяются зондирующая установка и сдвиговой лопастной прибор. Контроль осадок уплотненного грунта следует производить нивелированием поверхностных и глубинных марок.

В практике в последние годы для уплотнения слабых водонасыщенных грунтов широко применяются бумажные дренажи. Метод уплотнения грунтов бумажными дренажами в принципе аналогичен уплотнению грунтов временной нагрузкой с использованием вертикальных песчаных дрен, но отличается от последнего тем, что в качестве дрены используется бумажная лента. Бумаж-

ная дрена поставляется в рулонах длиной по 400 м, шириной 100 мм и толщиной 3 мм. Она склеена из двух полос, на внутренних сторонах которых выдавлено 10 каналов сечением по 3 мм<sup>2</sup>. Такая дрена в виде рулона транспортируется на строительные площадки. Погружение дрены в грунт до 20 м осуществляется специальной машиной.

**Горизонтальные перемещения** – деформации, связанные с действием горизонтальных нагрузок на основание (фундаменты распорных систем, подпорные стены и т.д.) или со значительными вертикальными перемещениями поверхности при оседаниях, просадках грунтов от собственного веса и т.п.

**Гравитационное дренирование** – извлечение из грунтов свободной воды, которая либо под действием силы тяжести свободно стекает с обводненного участка (самотечный дренаж), либо откачивается и отводится насосами (гидродинамический дренаж) или вакуумными установками (вакуумирование). При этом эффективность указанного метода в значительной степени зависит от коэффициента водоотдачи грунта ( $K_o$ ). Осушение самотечным дренажем может осуществляться двумя способами:

- поверхностным (открытым) – путем открытия систем канав, траншей, колодцев и др.;
- подземным – с использованием труб или специальных грунтовых сооружений.

Обычно дрены закладываются на расстоянии 10–50 м друг от друга. Чем выше водопроницаемость грунта, тем больше расстояние. Различают дрены продольного и поперечного расположения.

Способ искусственного водопонижения методом откачки является самым распространенным, особенно в песчаных грунтах. Различают глубинный водоотлив с откачкой (в том числе иглофильтровая разновидность для  $2 < K_{\phi} < 5$  м/сут), открытый водоотлив с откачкой. Иногда наряду со скважинами водопонижение осуществляют с помощью системы трубчатых и шахтных колодцев. Водопонижение достигает 40 м. Неэффективно при  $K_{\phi} < 5$  м/сут.

Вместе с осушением грунт также уплотняется в результате усадки или увеличения эффективных напряжений в массиве.

При электроосмотическом осушении глинистых грунтов наложение внешнего электрического поля постоянного тока заставляет ионы диффузного слоя, менее связанные с поверхностью, смещаться по направлению к полюсу противоположного им знака, и в силу молекулярного сцепления и трения они увлекут воду за собой.

**Гранулометрический состав (грунта)** – содержание по массе групп частиц (фракций) грунта различного размера по отношению к общей массе абсолютно сухого грунта. Гранулометрический состав является важнейшим показателем, определяющим физические свойства и структуру грунтов. В различных

---

сферах и отраслях существует целый ряд классификаций и шкал фракций по определению крупности.

Для обозначения классов (фракций) обычно используют миллиметры (мм). В геологических исследованиях приняты следующие обозначения осадочных горных пород:

- свыше 500 мм – валуны крупные;
- от 500 до 250 мм – валуны средние;
- от 250 до 100 мм – валуны мелкие;
- от 100 до 10 мм – галька;
- от 10 до 5 мм – гравий крупный;
- от 5 до 2 мм – гравий мелкий;
- от 2 до 1 мм – песок грубый;
- от 0,5 до 0,25 мм – песок средний;
- от 0,25 до 0,1 мм – песок мелкий;
- от 0,1 до 0,05 мм – алеврит;
- от 0,05 до 0,005 мм – пыль;
- до 0,005 – глина.

Гранулометрический состав можно представить как дискретную или непрерывную зависимость между содержанием частиц и их размерами. Для того чтобы определить дискретную зависимость, производится подразделение интервала размеров частиц исследуемого вещества на несколько классов (фракции). Информация о гранулометрическом составе представлена в качестве процентного содержания всех фракционных частиц.

Для определения гранулометрического состава грунтов применяют ситовой анализ. Этот метод дает возможность классифицировать частицы по крупности. Данные по величине фракции показывают, какие частицы содержатся в данном диапазоне размеров, которым ограничена фракция. На основании полученных данных строят кривую распределения, непрерывную зависимость, которую называют графическим изображением гранулометрического состава. Ось абсцисс кривой распределения служит для откладывания размеров частиц, ось ординат становится местом суммарного содержания всех частиц. Кривая распределения выглядит, как интегральная (суммарная) кривая. Определяя гранулометрический состав грунтов, в результате анализа иногда получают треугольник.

**Грунт** – любые горные породы, почвы, осадки и антропогенные геологические образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамические системы, исследуемые в связи с планируемой, осуществляемой или осуществленной инженерной деятельностью человека; горная порода, почва или искусственное образование (твердые отходы производства и бытовые), представляющие собой многокомпонентные системы, изменяющиеся во времени, используемые как основание, среда или материал для строительства

(СТБ 943-2007); любые горные породы, почвы, осадки и техногенные образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамические системы и часть геологической среды и изучаемые в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека (ГОСТ 25100-2011).

**Грунт глинистый** – связный минеральный грунт, обладающий сцеплением между частицами (связностью) и пластичностью и имеющий число пластичности не менее единицы.

**Грунт дисперсный** – крупнообломочный или песчаный грунт, состоящий из отдельных минеральных частиц (зерен) разного размера, слабо связанных друг с другом; образуется в результате выветривания скальных грунтов с последующей транспортировкой продуктов выветривания водным или эоловым путем и их отложением.

**Грунт заторфованный** – песчаный и глинистый грунт, содержащий по массе от 10 до 50% органического вещества.

**Грунт искусственный** – грунт природного происхождения, закрепленный или уплотненный различными методами, насыпной и намывной, а также твердые отходы производств и бытовые.

**Грунт крупнообломочный** – несвязный минеральный грунт, в котором масса частиц размером крупнее 2 мм составляет более 50%.

**Грунт лессовидный** – глинистый грунт, в гранулометрическом составе которого более 50% пылеватых (от 0,05 до 0,005 мм) частиц, бескарбонатный или известковый, преимущественно низкопористый (коэффициент пористости – не более 0,8), слоистый, как правило, непросадочный; встречаются прослойки песка, гравия, включения гальки, раковин моллюсков, иногда погребенные почвенные горизонты; относится к структурно-неустойчивым грунтам, характеризующимся изменением структурной прочности под внешним воздействием (замачивание, оттаивание, вибрационные нагрузки).

**Грунт мерзлый** – грунт, имеющий отрицательную или нулевую температуру, содержащий в своем составе видимые ледяные включения.

**Грунт мерзлый распученный** – дисперсный грунт, который при оттаивании уменьшается в объеме.

**Грунт многолетнемерзлый (грунт вечномерзлый)** – грунт, находящийся в мерзлом состоянии постоянно в течение трех и более лет.

**Грунт набухающий** – грунт, который при замачивании водой или другой жидкостью увеличивается в объеме с относительным набуханием в условиях свободного набухания (без нагрузки) не менее 0,04.

**Грунт намывной** – искусственный грунт, образуемый в процессе переукладки природного грунта гидромеханизированным способом.

**Грунт насыпной** – грунт природного происхождения с нарушенной структурой, образуемый принудительным перемещением в сооружение или для складирования с использованием средств механизации, взрыва.

---

**Грунт немерзлый, талый** – грунт при температуре выше температуры начала замерзания (оттаивания), при которой появляется (исчезает) лед. Температура начала замерзания (оттаивания) определяется по ГОСТ 25358-2012.

**Грунт непучинистый** – дисперсный грунт, который при промерзании не увеличивается в объеме и величина относительной деформации морозного пучения не превышает 0,01.

**Грунт несвязный** – грунт, состоящий из отдельных минеральных частиц (зерен) разного размера, сцепление между которыми равно нулю.

**Грунт полускальный** – грунт, предел прочности которого при одноосном сжатии в водонасыщенном состоянии менее 5 МПа.

**Грунт просадочный** – грунт, который под действием внешней нагрузки или собственной массы при замачивании водой или другой жидкостью дает просадку и при этом величина относительной просадочности составляет не менее 0,01.

**Грунт пучинистый** – дисперсный грунт, который при переходе из талого в мерзлое состояние увеличивается в объеме вследствие образования кристаллов льда и имеет относительную деформацию морозного пучения не менее 0,01.

**Грунт сезонномерзлый** – грунт, находящийся в мерзлом состоянии периодически в течение холодного сезона.

**Грунт скальный** – грунт, состоящий из кристаллитов одного или нескольких минералов, имеющих жесткие структурные связи цементационного типа.

**Грунт слабый** – грунты различного возраста, происхождения (генетических типов отложений) и вещественного состава, слаболитифицированные, малопрочные и сильносжимаемые с низкими значениями сопротивления зондированию: ил, сапропель, торф, грунты заторфованные, текучепластичные и текучие пылевато-глинистые, карбонатные (СНБ 1.02.01-96).

**Грунтовые подушки** – это слой уплотненного грунта в пределах деформируемой зоны основания, полученный путем послойной отсыпки местных грунтов с последующим их послойным уплотнением укаткой или трамбованием.

**Грунты культурного слоя** – наслоения грунта, отложившиеся в результате человеческой жизнедеятельности или естественные, включающие археологические находки.

**Грунты, измененные химико-физическим воздействием** – природные грунты, техногенное воздействие на которые изменяет их вещественный состав, структуру и текстуру.

**Деятельный слой** – поверхностная часть слоя многолетней мерзлоты, подверженная сезонным таяниям и замерзаниям. Его мощность зависит от географического положения местности, климата, типа грунтов и может достигать нескольких метров.

---

**Динамическое зондирование** – процесс погружения зонда в грунт под действием ударной (ударное зондирование) или ударно-вибрационной (ударно-вибрационное зондирование) нагрузки с измерением показателей сопротивления грунта внедрению зонда.

Метод динамического зондирования как полевой метод исследования грунтов основан на определении их сопротивления внедрению зонда под действием динамической нагрузки. Динамическое зондирование входит в состав инженерно-геологических изысканий и служит для определения:

- состава и свойств грунтов;
- ИГЭ в инженерно-геологическом разрезе;
- глубин залегания скальных и крупнообломочных пород;
- физико-механических свойств грунтов;
- плотности и прочности грунтов с течением времени;
- мест проведения полевых испытаний грунтов другими методами.

По результатам динамического зондирования вычисляют условное динамическое сопротивление грунта  $P_d$ , МПа (кгс/см<sup>2</sup>), погружению стандартного зонда.

При испытаниях грунтов динамическим зондированием применяют установки, состоящие из зонда (извлекаемого или неизвлекаемого), ударного устройства, опорной рамы и измерительного устройства.

Динамическое зондирование выполняют с помощью установок динамического зондирования, которые подразделяются на три типа по величине  $P_d$ .

Динамическое зондирование выполняют, последовательно забивая свободно падающим молотом зонд в грунт, одновременно ведется замер осадок зонда после нанесения нескольких ударов. Число таких ударов ( $n$ ), называемых залогом, зависит от грунта и выбирается в диапазоне 1,2. Для рыхлых песчано-глинистых пород оно не превышает 5.

Динамическое зондирование прекращают, когда достигнута заданная глубина или когда погружение зонда незначительно (меньшее 2,3 см за 10 ударов). Перерывы в зондировании допускаются только для добавления штанг. По окончании зондирования либо извлекают из грунта весь инструмент (комплект ударных штанг с зондом), либо только комплект штанг в зависимости от применяемой конструкции зонда.

В процессе зондирования необходимо контролировать вертикальное положение зонда. Нарращивание штанг выполняется с помощью штангового ключа посредством поворота погруженного зонда по часовой стрелке. Усилия при повороте штанг описываются в журнале, как и другие наблюдения, и учитываются при расчетах.

Условное динамическое сопротивление  $P_d$  вычисляют по формуле

$$P_d = AK\Phi n / h,$$

---

где  $A$  – удельная энергия зондирования, Н/см (кгс/см), для легких установок  $A = 280$  Н/см, для средних – 1120 Н/см, для тяжелых – 2800 Н/см;  $K$  – табличный коэффициент, определяющий потери энергии при ударе молота, вызванной инерционностью снаряда;  $\Phi$  – коэффициент, определяющий потери энергии на трение штанг о грунт, равен единице при крутящем моменте меньше 5 кНсм, определяется опытным путем, когда крутящий момент колеблется от 5 до 15 кНсм (если данные трения штанг о грунт отсутствуют, то используют табличные значения коэффициента);  $n$  – количество ударов в залеге;  $h$  – глубина погружения зонда за залог.

Результаты динамического зондирования оформляют в виде непрерывного ступенчатого графика.

Одна из характерных особенностей метода динамического зондирования заключается в том, что эпюры условного динамического сопротивления, характеризующие изменение свойств пород по разрезу, могут быть использованы для расчленения толщи пород на слои. В том случае, когда условное динамическое сопротивление внедрению зонда примерно одинаково, т.е. индикаторная линия приближается к прямой или слабо изогнутой кривой, слой считается однородным. Если же этот показатель меняется (индикаторная кривая графика – ломаная), то слой неоднороден. Расчленение разреза на отдельные слои с последующим выделением инженерно-геологических элементов производится осреднением значений условного динамического сопротивления зондированию, нахождением среднего абсолютного отклонения и среднего квадратичного отклонения с помощью методов математической статистики. По результатам расчетов средних значений условного динамического сопротивления зондированию по таблицам определяют плотность сложения песков.

**Допустимая нагрузка на сваю** – безопасная нагрузка, при расчете которой учитываются все влияющие факторы, такие как предельная несущая способность свай, расстояние между сваями, общая несущая способность грунта ниже свай, допустимая и возможная его осадка, обусловленная сжимаемостью отложений.

**Закрепление грунтов** – искусственное увеличение несущей способности, прочности, водонепроницаемости, сопротивления размыву и т.п. массива горных пород (в условиях их естественного залегания), непосредственно воспринимающего нагрузки от сооружений. Закрепление грунтов применяется при проходке горных выработок, строительстве промышленных и гражданских зданий на просадочных грунтах, для укрепления откосов выемок дорог и стенок котлованов в водонасыщенных грунтах, в качестве противооползневых мероприятий, при создании противофильтрационных завес в основании гидротехнических сооружений, гидроизоляции фундаментов от воздействия агрессивных промышленных вод, для увеличения несущей способности свай и опор большого диаметра и т.д.

---

**Заморозка грунтов** – искусственное охлаждение грунтов в естественном залегании до отрицательных температур с целью их упрочения и достижения необходимой степени водонепроницаемости.

**Засоленность** – характеристика, определяемая количеством водорастворимых солей в грунте.

**Золошлаки** – продукты комплексного термического преобразования горных пород и сжигания твердого топлива.

**Золы** – продукт сжигания твердого топлива.

**Золы сухого удаления (золы уноса) и золошлаки** – продукты сжигания твердого топлива, составляют значительный объем отходов теплоэнергетического производства.

**Зольность торфа** – отношение массы минеральной части торфа ко всей его массе в абсолютно сухом состоянии.

**Ил** – водонасыщенный современный осадок водоемов, образовавшийся при наличии микробиологических процессов, природная влажность которого, как правило, превышает влажность на границе текучести (показатель текучести более единицы, содержание частиц размером менее 0,01 мм составляет от 30 до 50% по массе), коэффициент пористости не менее 0,9, относительное содержание органических веществ составляет менее 10%, содержание карбонатов ( $\text{CaCO}_3$ ) – менее 10 %.

**Инженерная геохимия** – это химия геологической среды, которая составляет гидролитологическую часть окружающей среды, область размещения объектов жизнедеятельности человека, среду техногенной миграции элементов, в том числе токсичных. По объему, термодинамическим условиям и характеру физико-химических процессов она практически совпадает с понятием зоны гипергенеза, которую следует рассматривать как геохимический эквивалент геологической среды, а учение о геохимии зоны гипергенеза – в качестве естественно-исторической базы инженерной геохимии.

**Инженерно-геологические изыскания** – изыскания, которые проводятся с целью разработки технически обоснованных и экономически целесообразных решений при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов с учетом требований по рациональному использованию геологической среды. Инженерно-геологические изыскания являются составной частью инженерных изысканий, которые обеспечивают взаимную увязку проектных решений с геологическими условиями местности и предшествуют всем видам строительства (в том числе шахт, карьеров, нефте- и газопромислов и др.).

**Инъекционный анкер** – напрягаемая конструкция, состоящая из корня, тяги и головы, обеспечивающая связь между сооружением и грунтом.

**Камеральная обработка материалов** – всесторонняя научная обработка и обобщение материалов, собранных в процессе полевых топографических, геологических и других специальных исследований какой-либо территории

---

или каких-либо геологических объектов. В процессе камеральных работ составляются сводные отчеты и графические, табличные и текстовые документы, отражающие результаты проведенных полевых работ. Требования к камеральным работам устанавливаются действующими инструкциями и положениями в зависимости от целей и задач проведенных работ, а затраты на их производство определяются по справочникам укрупненных сметных норм или обосновываются при проектировании геолого-разведочных работ.

**Коллоидная активность грунта** – отношение числа пластичности грунта к содержанию глинистой фракции. Усадка и набухание грунта в соответствии с изменением его влажности являются функцией его активности.

**Коэффициент водонасыщения (степень влажности)** – это отношение объема воды к объему пор в грунте (степень заполнения пор водой).

**Коэффициент выветрелости** – отношение плотности выветрелого грунта к плотности монолитного грунта.

**Коэффициент пористости** – отношение объема пор к объему твердых частиц грунта.

**Коэффициент размягчаемости в воде** – отношение значений предела прочности скальных и полускальных грунтов при одноосном сжатии соответственно в водонасыщенном и воздушно-сухом состоянии.

**Коэффициент размягчаемости в воде** – отношение пределов прочности грунта на одноосное сжатие в водонасыщенном и воздушно-сухом состоянии.

**Коэффициент уплотнения грунта** – отношение плотности сухого грунта в контролируемом слое земляного сооружения к максимальной плотности сухого грунта, определенной в приборе стандартного уплотнения по ГОСТ 22733-2016.

**Криогенная текстура** – совокупность признаков сложения мерзлого грунта, обусловленная ориентацией, относительным расположением и распределением различных по форме и размерам ледяных включений и льда-цемента.

**Криогенные структурные связи грунта** – связи, возникающие в дисперсных и трещиноватых скальных грунтах при отрицательной температуре в результате цементирования льдом.

**Культурный слой** – слой любой горной породы и почвы со следами деятельности человека, т.е. наличием в его толще различных артефактов. С точки зрения грунтоведов, культурный слой относится к искусственным грунтам без кристаллизационных связей.

**Лабораторные исследования** – исследования, которые изучают физико-механические свойства пород, что является одним из основных составных элементов характеристики инженерно-геологических условий территории (площадки строительства).

**Ледогрунт** – грунт, содержащий в своем составе более 90% льда.

---

**Лигнин** – продукт отходов целлюлозно-бумажной промышленности и гидролизного производства. В зависимости от вида производства и технологического процесса различают сульфатный, сульфитный и гидролизный лигнин.

**Липкость, прилипаемость (предел адгезионной прочности глинистых грунтов)** – способность грунта прилипнуть к различным материалам при соприкосновении.

**Литифицированные глинистые грунты** – глинистые грунты дочетвертичного возраста, прошедшие в своем развитии стадию позднего диагенеза и обладающие преимущественно контактами переходного типа.

**Литогенез** – совокупность природных процессов образования и дальнейших изменений осадочных горных пород.

**Массив техногенно преобразованных природных грунтов** – объем грунтов, в пределах которого в условиях их естественного залегания произошло целенаправленное или случайное изменение их состава, состояния и свойств, существенное для инженерно-хозяйственной деятельности человека.

**Мелиоративное грунтоведение** – система взглядов, представлений и идей, направленных на разработку специфических подходов и методик изучения состава, структуры и свойств грунтов, анализ физического состояния грунтовых систем, путей и режимов его регулирования, исследование геохимических закономерностей искусственного литогенеза в условиях целенаправленного воздействия, изучение физико-механических и реологических свойств искусственных грунтов.

**Мергель озеро-болотный** – водонасыщенный современный осадок водоемов, природная влажность которого превышает влажность на границе текучести, коэффициент пористости – не менее 0,9, относительное содержание органических веществ – менее 10%, содержание карбонатов ( $\text{CaCO}_3$ ) – более 10%.

**Металлургические шлаки** – легкоплавкие силикатные материалы, которые получают в виде отходов при выплавке металлов из руд. Образуются в виде расплава различных оксидов в процессе выплавки, рафинирования и переплавки металлов и их сплавов. В зависимости от процесса, при котором получают шлаки (мартеновские, конверторные, электросталеплавильные, ваграночные и др.), они различаются по химическому составу, температуре и вязкости в момент образования и выпуска, газонасыщенности и другим свойствам.

**Метод вакуумного водопонижения** – создание устойчивого вакуума на наружных поверхностях водоприемных устройств (фильтровых участках труб).

**Метод двухрастворной силикатизации** – метод, заключающийся в очередном нагнетании раствора кремниевой кислоты (жидкого стекла)  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$  и раствора хлористого кальция  $\text{CaCl}_2$ .

**Метод торкретирования** – нанесение под давлением сжатого воздуха на скальные поверхности цементно-песчаных растворов или бетонной смеси, способных проникать даже в тонкие трещины.

---

**Механические свойства грунтов** – свойства грунтов, которые характеризуют их поведение под нагрузкой.

**Микроагрегатный состав грунта** – количественное содержание в грунте первичных и вторичных частиц (т.е. сцепленных в агрегаты) по фракциям, выраженное в процентах по отношению к их общей массе.

**Минеральный грунт** – грунт, состоящий из неорганических веществ.

**Модифицированный грунт** – неупрочненная или частично упрочненная смесь грунта либо с небольшими добавками вяжущего, либо с добавками ПАВ, обладающими гидрофобизирующими и (или) структурообразующими свойствами. Внесенные в грунт, они улучшают некоторые его физические и химические свойства: понижается пластичность, уменьшается склонность к объемным изменениям при изменении влажности, повышается несущая способность в водонасыщенном состоянии.

**Модуль деформации** – коэффициент пропорциональности линейной связи между приращениями давления на образец и его деформацией.

**Моренные грунты** – минеральные грунты ледникового происхождения.

**Морозный грунт** – скальный грунт, имеющий отрицательную температуру и не содержащий в своем составе лед и незамерзшую воду.

**Морфометрия структурных элементов грунтов** – описание размера, формы, характера поверхности твердых частиц (зерен, кристаллов, обломков и др.) и их количественного содержания в грунтах, под которыми понимают отдельные кристаллы, их обломки или обломки пород, составляющие твердую компоненту.

**Наименьшая влагоемкость грунта** – количество влаги, прочно удерживающееся в грунте после полного свободного стекания гравитационной воды.

**Насыпи** – искусственные сооружения, которые частично или полностью сложены напластованиями, образованными переукладкой природного грунта или отсыпкой промышленных и бытовых отходов средствами механизации (в том числе гидромеханизации, СНБ 5.01.01-99).

**Несвязный грунт** – дисперсный грунт, обладающий механическими структурными связями и сыпучестью в сухом состоянии.

**Органический грунт** – грунт, содержащий 50% (по массе) и более органического вещества.

**Органическое вещество** – органические соединения, входящие в состав грунта в виде неразложившихся остатков растительных и животных организмов, а также продуктов их разложения и преобразования.

**Органоминеральный грунт** – грунт, содержащий от 3 до 50% (по массе) органического вещества.

**Осадки** – деформации, происходящие в результате уплотнения грунта под воздействием внешних нагрузок и в отдельных случаях собственного веса грунта, не сопровождающиеся коренным изменением его структуры.

---

**Оседания** – деформации земной поверхности, вызываемые разработкой полезных ископаемых, изменением гидрогеологических условий, понижением уровня подземных вод, карстово-суффозионными процессами и т.п.

**Основание** – область грунта, воспринимающая давление от сооружения.

**Основной закон грунтоведения** – состав, строение, состояние и свойства грунтов определяются генезисом, характером постгенетических процессов, современным пространственным (координатным) положением грунтов.

**Отвалы вскрышных пород** – размещение на поверхности пустых пород или некондиционного минерального сырья, а также хвостов обогатительных фабрик, отходов или шлаков от различных производств и сжигания твердого топлива. Отвалообразование является завершающим этапом вскрышных работ на карьерах.

**Откос** – искусственно созданная поверхность, ограничивающая природный грунтовой массив, выемку или насыпь. Откосы образуются при возведении различного рода насыпей (дорожное полотно, дамбы, земляные плотины и т.д.), выемок (котлованы, траншеи, каналы, карьеры и т.п.) или при перефилировании территорий.

**Относительная деформация морозного пучения грунта** – характеристика, отражающая способность грунта к морозному пучению, полученному по результатам испытаний образцов грунта в специальных установках, обеспечивающих промораживание образца исследуемого грунта в заданном температурном и влажностном режимах.

**Относительная деформация набухания без нагрузки** – отношение увеличения высоты образца грунта после свободного набухания в условиях невозможности бокового расширения к начальной высоте образца грунта природной влажности.

**Относительная деформация просадочности** – отношение разности значений высоты образца грунта в результате замачивания водой или другой жидкостью при определенном вертикальном давлении к высоте образца природной влажности при давлении, равном природному на глубине отбора образца.

**Относительное содержание органического вещества (степень заторфованности)** – отношение массы органического вещества в образце абсолютно сухого грунта к массе грунта.

**Отходы производства** – твердые отходы производства, полученные в результате химических и термических преобразований материалов природного происхождения.

**Охлажденный грунт** – засоленный грунт, отрицательная температура которого выше температуры начала его замерзания.

**Песок (песчаный грунт)** – несвязный (сыпучий) минеральный грунт, в котором масса частиц размером крупнее 2 мм составляет менее 50% и число пластичности меньше единицы.

**Пластичномерзлый грунт** – дисперсный грунт, сцементированный льдом, обладающий вязкопластичными свойствами и сжимаемостью под внешней нагрузкой.

**Пластичность** – способность грунта изменять форму без нарушения сплошности под воздействием внешних усилий и сохранять приданную форму после устранения воздействия. Пластичность грунтов изменяется в зависимости от количества и качества находящейся в грунте воды.

**Плотность грунта** – это отношение массы грунта, включая массу воды в его порах, к занимаемому этим грунтом объему.

**Плотность скелета грунта** – отношение массы грунта к занимаемому этим грунтом объему.

**Плотность сухого грунта** – отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к первоначальному объему.

**Плотность частиц грунта** – отношение массы твердых частиц грунта к их объему. Зависит только от плотности слагающих грунт минералов.

**Подъемы и осадки** – деформации, связанные с изменением объема некоторых грунтов при изменении их влажности или воздействии химических веществ (набухание и усадка) и при замерзании воды и оттаивании льда в порах грунта (морозное пучение и оттаивание грунта).

**Показатель максимальной неоднородности** – мера неоднородности гранулометрического состава песка, определяемая по формуле  $U_{\max} = d_{50}d_{95}/d_5$ , где  $d_{95}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_5$  – диаметры частиц, мм, меньше которых в данном грунте содержится (по массе) соответственно 95, 50 и 5% частиц.

**Показатель текучести (консистенция)** – отношение разности значений влажности, соответствующих двум состояниям грунта – естественному и на границе раскатывания к числу пластичности.

**Потенциал разжижения грунта** – показатель, имеющий смысл коэффициента запаса прочности грунта и представляющий собой отношение критического значения касательного напряжения, вызывающего разжижение грунта при данном уровне сжимающих напряжений и длительности воздействия, к значению максимальных касательных напряжений, возникающих в грунте при прогнозируемом землетрясении. Оценивается по данным полевых и лабораторных испытаний и зависит от свойств грунта и параметров сейсмического воздействия с заданным уровнем повторяемости.

Разжижением грунта называется его переход в текучее состояние вне зависимости от причины такой трансформации и величины последующих деформаций. Динамическое разжижение – переход водонасыщенных дисперсных грунтов в текучее состояние в результате разрушения структурных связей под действием волн напряжений разного типа.

По своему смыслу термин «разжижение» характеризует всего лишь одну из стадий поведения грунта в динамических условиях, тем не менее он обыч-

---

но используется для характеристики всего явления в целом. Исходя из этого, под разжижением понимается явление полной или частичной потери грунтом несущей способности под влиянием динамической нагрузки и переход его в текучее состояние, возникающее в результате разрушения структуры грунта и сопровождаемое постепенным восстановлением его структуры и прочности при снятии динамического воздействия. В основе этого явления лежит сложный трехстадийный процесс, включающий разрушение исходной структуры грунта, переход грунта в разжиженное состояние, восстановление структуры и постепенное упрочнение системы. Поскольку все выделяемые стадии взаимно связаны между собой, то большинство исследователей, изучавших явление динамической устойчивости дисперсных грунтов, называют его разжижением.

**Почва** – природное образование в виде поверхностного слоя земной коры, обладающего плодородием; состоит из нескольких горизонтов, возникших в результате сложного взаимодействия материнских горных пород, климата, рельефа, растительности, животных организмов и хозяйственной деятельности человека.

**Предел прочности грунта на одноосное сжатие** – отношение вертикальной нагрузки на образец грунта, при которой происходит его разрушение, к площади поперечного сечения образца.

**Природные грунты, измененные в условиях естественного залегания** – техногенные грунты, созданные преобразованием природных грунтов в условиях их естественного залегания, образуются в основном в результате целенаправленного изменения первоначальных свойств последних одним из методов технической мелиорации и представляют собой улучшенные скальные, дисперсные либо криогенные грунты.

**Промороженный грунт** – искусственно замороженный грунт.

**Просадки** – деформации, происходящие в результате уплотнения и, как правило, коренного изменения структуры грунта под воздействием как внешних нагрузок и собственного веса грунта, так и дополнительных факторов, таких, например, как замачивание просадочного грунта, оттаивание ледовых прослоек в замерзшем грунте и т.д.

**Прочность** – степень сопротивления грунта разрушающему воздействию на него внешних сил.

**Пучинистость грунта** – способность грунта деформироваться при промерзании, увеличивая свой объем в результате льдовыделения и миграции влаги.

**Разжижение** – переход водонасыщенного дисперсного грунта в текучее (пывунное) состояние под внешним воздействием (статическим, динамическим, фильтрационным). Процесс разжижения включает в себя стадии разрушения структурных связей, течения и последующего уплотнения грунта.

---

**Размокаемость** – способность грунта при погружении в спокойную воду терять связность и превращаться в рыхлую массу с полной или частичной потерей несущей способности.

**Сапропель** – пресноводный ил, образовавшийся при саморазложении органических (преимущественно растительных) остатков на дне застойных водоемов (озер) и содержащий более 10% органического вещества; как правило, коэффициент пористости более 3, показатель текучести – более 1; содержание частиц размером более 0,25 мм не превышает 5%.

**Свалки** – территории размещения отходов производства и потребления.

**Связный грунт** – дисперсный грунт с физическими и физико-химическими структурными связями.

**Сжимаемость грунтов** – показатель, который обуславливается изменением пористости грунтов вследствие переупаковки частиц, ползучестью водных оболочек, вытеснением воды из пор грунта. Сжатие полностью водонасыщенных грунтов возможно только при условии вытеснения воды из пор грунта.

**Силикатизация** – химическое закрепление грунтов с  $K_{\phi} = 2-80$  м/сут при нагнетании в основание раствора кремниевой кислоты (жидкого стекла)  $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ . При разложении в грунте кремниевая кислота переходит в состояние геля и связывает отдельные минеральные частицы.

Для ускорения данного химического процесса в грунт вводят катализатор – хлористый кальций ( $\text{CaCl}_2$ ). Такой способ закрепления грунтов получил название двухрастворного.

Закрепленный грунт основания приобретает прочность следующего порядка: песок – 1,5–3 МПа, супесь – 0,5 МПа, лёсс – 0,8 МПа.

Силикатизация находит широкое применение для закрепления пылеватых грунтов, удовлетворяя требованиям повышению прочности оснований при реконструкции сооружений. Для грунтов с  $K_{\phi} = 0,2-5$  м/сут (пылеватые пески, супеси) используется однорастворный метод силикатизации. В этом случае инъекционный гелеобразующий раствор состоит из смеси жидкого стекла и фосфорной кислоты ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + \text{H}_3\text{PO}_4$ ). Однорастворный метод силикатизации придает прочность грунту порядка 0,3–0,5 МПа. Однако из-за относительно большой стоимости  $\text{H}_3\text{PO}_4$  данный метод закрепления получил ограниченное применение.

Необходимо отметить, что для лессовых (химически активных) грунтов, в составе которых содержатся соли кальция ( $\text{CaSO}_4$ ), также используется однорастворный метод силикатизации. В этом случае в закрепляемое основание нагнетается лишь раствор кремниевой кислоты (силиката натрия), который, взаимодействуя с солями кальция, образует водонерастворимый гель. В лессовых грунтах однорастворный метод силикатизации придает закрепленному грунту прочность до 2 МПа.

**Склон** – откос, образованный природным путем и ограничивающий массив грунта естественного сложения.

**Смолизация** – нагнетание растворов синтетических смол с добавками отвердителей и ускорителей схватывания. Применяется для закрепления, повышения прочности и водонепроницаемости мелкозернистых несвязных грунтов, тонкотрещиноватых и пористых горных пород.

**Сопротивление грунта срезу** – характеристика прочности грунта, определяемая значением касательного напряжения, при котором происходит разрушение (срез).

**Состав грунта вещественный** – категория, характеризующая химико-минеральный состав твердых, жидких и газовых компонентов.

**Статическое зондирование** – процесс погружения зонда в грунт под действием статической вдавливающей нагрузки с измерением показателей сопротивления грунта внедрению зонда.

**Стационарные наблюдения** – постоянные (непрерывные или периодические) наблюдения (измерения) за изменениями состояния отдельных факторов (компонентов) инженерно-геологических условий территории в заданных пунктах.

**Степень влажности (коэффициент водонасыщения)** – степень заполнения объема пор водой, выраженная в долях единицы.

**Степень водопроницаемости** – характеристика, отражающая способность грунтов пропускать через себя воду и количественно выражающаяся в виде коэффициента фильтрации.

**Степень водопроницаемости** – характеристика, отражающая способность грунтов пропускать через себя воду и количественно выражающаяся в коэффициенте фильтрации.

**Степень засоленности** – содержание легко- и среднерастворимых солей в процентах от массы абсолютно сухого грунта. К легкорастворимым солям относятся: хлориды  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ; бикарбонаты  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ; карбонат натрия  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , сульфаты магния и натрия  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . К среднерастворимым солям относятся гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и ангидрит  $\text{CaSO}_4$ .

**Степень морозной пучинистости** – характеристика, отражающая способность грунта к морозному пучению и выражаемая относительной деформацией морозного пучения  $\varepsilon_{fh}$ , д.е.:

$$\varepsilon_{fh} = \frac{h_{0f} - h_0}{h_0},$$

где  $h_{0f}$  – высота образца мерзлого грунта, см;  $h_0$  – начальная высота образца талого грунта до замерзания, см.

**Степень неоднородности гранулометрического состава (грунта)** – показатель неоднородности гранулометрического состава песчаных грунтов,

определяемый по формуле  $CU = d_{60}/d_{10}$ , где  $d_{60}$  и  $d_{10}$  – диаметры частиц, меньше которых в данном грунте содержится (по массе) соответственно 60 и 10% частиц.

**Степень пластичности ила** – отношение природной влажности к границе текучести, отражающее уплотнение и дегидратацию ила.

**Степень плотности песков** – показатель, определяемый по формуле

$$J_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}},$$

где  $e_{\max}$  – коэффициент пористости при предельно плотном сложении;  $e$  – коэффициент пористости при естественном или искусственном сложении;  $e_{\min}$  – коэффициент пористости при предельно рыхлом сложении.

**Степень разложения торфа** – отношение массы бесструктурной (полностью разложившейся) части, включающей гуминовые кислоты и мелкие частицы негумифицированных остатков растений, к общей массе торфа.

**Степень растворимости в воде** – характеристика, отражающая способность грунтов растворяться в воде и выражающаяся в граммах на единицу объема воднорастворимых солей.

**Степень растворимости в воде** – характеристика, отражающая способность грунтов растворяться в воде и выражающаяся в количестве водорастворимых солей, г/л.

**Структура грунта** – пространственная организация твердого, жидкого, газообразного и биотического компонентов грунта, характеризующаяся совокупностью геометрических, морфометрических и энергетических признаков и определяющаяся составом, количественным соотношением и взаимодействием компонентов грунта.

**Структурно-неустойчивые грунты** – структурно-неустойчивыми называют такие грунты, которые обладают способностью изменять свои структурные свойства под влиянием внешних воздействий с развитием значительных осадок, протекающих, как правило, с большой скоростью.

**Сыпучемерзлый грунт** – крупнообломочный и песчаный грунт, имеющий отрицательную температуру, но не сцементированный льдом.

**Твердомерзлый грунт** – дисперсный грунт, прочно сцементированный льдом, характеризуемый относительно хрупким разрушением, практически не сжимаемый под внешней нагрузкой.

**Текстура грунта** – признак структуры, характеризующий пространственную композицию слагающих грунт элементов (слоистость, трещиноватость и др.).

**Температура начала замерзания (оттаивания)** – температура, °С, при которой в порах грунта появляется (исчезает) лед.

**Тепловая мелиорация** — улучшение теплового режима почв, например, путем внесения минерального грунта на торфяниках.

**Термический способ закрепления грунтов** — метод закрепления для упрочнения маловлажных пылевато-глинистых грунтов, имеющих высокую проницаемость, в основном используют для закрепления просадочных грунтов. Его удобно применять, когда ожидаемая просадка превышает по своим значениям допустимую величину осадки сооружения.

В процессе термической обработки прочность связей между частицами макропористого грунта увеличивается, за счет чего грунт становится непросадочным. Рекомендуемая температура обработки макропористого глинистого грунта — 300–400 °С. При таких условиях состав скелета грунта быстро меняется. Происходит самое настоящее спекание частиц грунта между собой, за счет чего и увеличивается его несущая способность.

Термическая обработка способна повысить прочность грунта на одноосное сжатие до 100 кг/см<sup>2</sup>. В полевых условиях данный метод реализуется с помощью скважин диаметром 120–200 мм. Чем больше диаметр, тем лучше проникают продукты горения в подвергаемый закреплению массив. Максимальная глубина, на которую может быть закреплен грунт таким способом, составляет 20 м. Для того чтобы обеспечить возможность нагнетания воздуха в пробуренные скважины, они герметично закрываются затворами. Таким образом, внутри грунта образуется камера сгорания.

**Термическое упрочнение** — сжигание непосредственно в грунте (в скважине) различных видов топлива. При нагнетании в поры грунта нагретого до высокой температуры (700–1000 °С) воздуха и химических добавок он изменяет свои физико-механические свойства, становясь в некотором объеме прочным, плотным, и теряет способность к просадке.

**Террикон** — отвал, искусственная насыпь из пустых пород, извлеченных при подземной разработке месторождений угля и других полезных ископаемых, насыпь из отходов от различных производств и сжигания твердого топлива.

Внутри терриконов шахт и горнообогатительных фабрик нередко протекают различные процессы техногенного пирометаморфизма:

- сгорание угля (зоны с окислительным режимом обжига);
- пиролиз угля (зоны восстановительного обжига,  $T = 800\text{--}1000\text{ °C}$ );
- реакции дегидратации слоистых силикатов, имеющие следствием массовое испарение воды, а также удаление F, Cl на начальных этапах горения отвала ( $T = 600\text{--}700\text{ °C}$ );
- разложение карбонатов с удалением CO и CO<sub>2</sub> и образованием периклаза, извести и ферритов ( $T = 600\text{--}800\text{ °C}$ );
- локальное плавление с образованием остеклованных клинкеров и базитовых паралав ( $T = 1000\text{--}1250\text{ °C}$ ).

---

Эти процессы приводят к радикальному изменению фазового состава отвальной массы. В результате образуются такие горные породы, которые в природе не встречаются.

В процессе рекультивации земель терриконы являются объектами озеленения и облесения. На них в большом количестве высаживают деревья с целью приостановить разрушение терриконов от воздействия разрушающих факторов погодных условий.

**Техническая мелиорация грунтов** — область инженерной геологии, занимающаяся разработкой теории и методов целенаправленного улучшения состава, физического состояния и физико-механических свойств грунтов в целях позитивного изменения качества определенных участков (объемов) геологической среды, испытавших техногенное воздействие различного профиля.

Основными задачами технической мелиорации грунтов являются:

- изучение и оценка горных пород как объектов искусственного воздействия в целях определения условий и эффективности методов их уплотнения и упрочнения для улучшения физико-механических и фильтрационных свойств;

- целенаправленный анализ процессов природного диагенеза, катагенеза, метаморфизма и гипергенеза в целях определения геохимически оптимальных условий искусственного воздействия и прогноза характера и направленности процессов, происходящих в искусственных грунтах в различных литологических, гидродинамических и гидрохимических условиях;

- исследование механизма и кинетики формирования искусственных грунтов в различных литологических, гидродинамических и гидрохимических условиях;

- изучение инженерно-геологических особенностей искусственных грунтов и прогноз их изменения во времени с учетом изменения физико-химических параметров среды как в пределах массивов мелиорированных пород, так и в примыкающих к ним участках литосферы;

- совместная с инженером-технологом и проектировщиком разработка приемов инженерно-геологической типизации массивов горных пород в целях оптимизации технологических схем различных видов искусственного воздействия (дренирование, инъектирование, нагревание и т.п.);

- разработка методов контроля качества закрепления для получения количественной характеристики физико-механических свойств мелиорированных пород и оценки их изменчивости в пространстве и времени.

**Техногенно измененный в условиях естественного залегания грунт** — природный грунт, подвергнутый различному по природе техногенному воздействию (химическому, физическому, физико-химическому, биологическому и т.п.) на месте его залегания.

---

**Техногенно перемещенный (переотложенный) грунт** – природный грунт, перемещенный тем или иным искусственным способом с места его естественного залегания и подвергнутый при этом частичному преобразованию.

**Техногенные грунты** – естественные грунты и почвы, измененные и перемещенные в результате производственной и хозяйственной деятельности человека, и антропогенные образования.

**Техногенные месторождения** – скопление минеральных веществ на поверхности земли или в горных выработках, образовавшееся в результате их отделения от массива и складирования в виде отходов горного, обогачительного, металлургического и других производств и пригодное по количеству и качеству для промышленного использования (для извлечения металлов и других полезных компонентов, получения топлива и стройматериалов).

**Торф** – органоминеральный грунт, образовавшийся в результате естественного отмирания и неполного разложения болотных растений в условиях повышенной влажности при недостатке кислорода, содержащий по массе 50% и более органического вещества.

**Трамбовка** – метод уплотнения крупнообломочных и песчаных грунтов, осуществляемый с помощью копров или подъемных кранов.

**Трещиноватость скального массива** – особенность строения скального массива, обусловленная наличием трещин разного происхождения, размера, формы, направления, с различными заполнителями.

**Угол внутреннего трения** – параметр прямой зависимости сопротивления грунта срезу от вертикального давления, определяемый как угол наклона этой прямой к оси абсцисс.

**Удельное сопротивление грунта под наконечником (конусом) зонда** – сопротивление грунта погружению наконечника (конуса) зонда при статическом зондировании, отнесенное к площади основания наконечника (конуса) зонда.

**Удельное сцепление грунта** – параметр прямой зависимости сопротивления грунта срезу от вертикального давления, определяемый как отрезок, отсекаемый этой прямой на оси ординат.

**Улучшенные грунты** – слабые или малосвязанные грунты, уплотненные с помощью цементирования, битуминирования, введения солей, жидкого стекла и др.

**Управление инженерными способностями грунтов** – разработка теоретических принципов и методов, их материальной реализации на практике для целенаправленного изменения основных функциональных характеристик грунтов. Его основой является количественное выражение взаимозависимостей в системе грунт – технология – инженерная способность, а прагматической задачей – определение грунтовых параметров, требующих изменения до заданных значений и необходимых для этого приемов.

**Упрочненный грунт** – грунт, в котором имеется достаточное количество вяжущего материала и вспомогательных реагентов, а также благоприятные

---

условия для развития основных процессов твердения, обеспечивающие формирование прочного и устойчивого строительного материала. Готовый продукт имеет хорошо выраженную сопротивляемость выветриванию и механическим воздействиям; пригоден в качестве основания бетонного и асфальтобетонного покрытия или покрытия облегченного типа с устройством слоя износа. Соответствующие разновидности упрочненных грунтов применяются для защиты от промерзания и армирования грунтовых толщ.

**Условное динамическое сопротивление грунта** – сопротивление грунта погружению зонда при забивке его падающим молотом (вибромолотом).

**Физико-химически измененные грунты** – грунты, закрепленные внесением вяжущих и специальных добавок (коагулирующих, диспергирующих), а также веществ, вступающих в химические реакции с жидкой и твердой компонентами грунта, в результате чего формируются новые кристаллизационные и конденсационные структурные связи.

**Физически измененные грунты** – модифицированные механическим воздействием и наложением физических полей (электромагнитного, температурного), включающие следующие разновидности грунтов: уплотненные, термически упрочненные, осушенные, с оптимизированным гранулометрическим составом (в том числе закольматированные).

**Фосфогипс** – продукт отходов химической промышленности, образуется при производстве экстракционной фосфорной кислоты сложных фосфорсодержащих удобрений из апатита и фосфорита.

**Фундамент** – подземная часть сооружения, предназначенная для передачи нагрузки от сооружения грунту.

**Цементация массива грунтов** – искусственное заполнение трещин, пор и пустот в горных породах цементными растворами, нагнетаемыми под давлением (до 5 МПа и выше). Уплотнившиеся и затвердевшие растворы придают горным породам большую прочность, устойчивость, плотность и газонепроницаемость. Данный метод применяется для закрепления обломочных скальных отложений крупно- и среднезернистых песков, галечниковых отложений, а также для заполнения образованных в грунтах карстовых пустот.

Цементация грунтов производится следующим образом: через перфорированные трубы (инъекторы) нагнетается цементный раствор. Производится данная процедура только в том случае, если в основании грунта коэффициент фильтрации превышает 80 м/сут. Определить данный показатель поможет оборудование для зондирования грунтов. Выходя из трубы-инъектора, раствор быстро затвердевает и цементирует грунт. Для лучшего соединения частиц грунта с раствором непосредственно перед началом цементации скважину промывают, нагнетая в нее чистую воду. Что касается цементного раствора, то он формируется в водоцементном отношении от 0,5 до 10. В отдельных случаях в него добавляют песок. Цементация грунтов на большую

---

глубину осуществляется через скважину диаметром 65 мм. Долговечность цементации напрямую зависит от наличия грунтовых вод и скорости их потока.

Широкое применение цементация грунтов получила при заполнении подземных выработок и карстовых пустот. В отдельных случаях к ней прибегают для организации отдельных фундаментов из трещиноватой скалы или закрепленного песка.

**Число пластичности грунта** — разность значений влажности, соответствующих границе текучести и границе раскатывания (пластичности).

**Шлаки** — продукты химических и термических преобразований горных пород, образующиеся при сжигании.

**Шламы** — высокодисперсные материалы, образующиеся в процессе горнообогатительного, химического и некоторых других видов производства.

**Штамповые испытания** — испытания грунтов штампом. Проводятся для определения деформационных характеристик грунтов перед проектированием, строительством или при контроле качества уплотнения грунтов. В ходе испытаний определяются модуль деформации, начальное просадочное давление и относительная деформация просадочности основания. Испытания грунтов оснований штампами проводятся следующим образом: круглый плоский или винтовой штамп нагружается поэтапно (ступенями) посредством домкрата или пригружается грузом (ФБС-блоки, плиты или тяжелая техника: экскаватор, грузовой автомобиль и т.д.). Нагрузка при проведении штамповых испытаний увеличивается ступенями. На каждом этапе с помощью прогибомеров или датчиков перемещений измеряются деформации основания, соответствующие давлению на данном этапе. Данные обрабатываются, заносятся в журнал и строится график зависимости осадки штампа от давления  $S = f(p)$ . По полученным данным определяют модуль деформации, МПа, грунта.

В состав установки для испытания грунта штампом должны входить штамп, устройство для создания и измерения нагрузки на штамп, анкерное устройство (для установок без грузовой платформы), устройство для измерения осадок штампа (прогибомеры, датчики перемещений), устройство для замачивания и контроля влажности грунта (при испытании просадочных грунтов).

Конструкция установки должна обеспечивать возможность нагружения штампа ступенями давления по 0,01–0,1 МПа, центрированную передачу нагрузки на штамп, постоянство давления на каждой ступени нагружения.

---

## ЛИТЕРАТУРА

---

1. *Передельский, Л.В.* Инженерная геология / Л.В. Передельский, О.Е. Приходченко. Ростов н/Д: Феникс, 2009.
2. Современная динамика рельефа Белоруссии / А.В. Матвеев [и др.]. Минск: Навука і тэхніка, 1991.
3. *Абелев, Ю.М.* Возведение зданий и сооружений на насыпных грунтах / Ю.М. Абелев, В.И. Крутов. М.: Госстройиздат, 1962.
4. *Лычко, Ю.М.* Использование промышленных отходов для устройства оснований зданий и сооружений / Ю.М. Лычко // Сер. 8. Строительные конструкции. Вып. 5. М.: ВНИИИ Госстроя СССР, 1982.
5. *Трубецкой, К.Н.* Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия / К.Н. Трубецкой, В.Н. Уманец, М.Б. Никитин // Горный журнал. 1986. № 2.
6. *Насыров, Б.Х.* Техногенные источники минерального строительного сырья / Б.Х. Насыров. М.: Недра, 1993.
7. *Огородникова, Е.Н.* Техногенные грунты / Е.Н. Огородникова, С.К. Николаева. М.: МГУ, 2004.
8. *Худайбергенов, А.М.* Инженерная геология правобережья р. Чирчика / А.М. Худайбергенов. Ташкент: ФАН, 1980.
9. *Спиридонов, Д.В.* Инженерно-геологические особенности техногенных отложений Западного КАТЭКа и методика их изучения: дис. ... канд. геолого-минералогических наук: 04.00.07 / Д.В. Спиридонов. Зеленый, 1986.
10. *Лихачева, Э.А.* Экологические хроники Москвы / Э.А. Лихачева. М.: Медиа-ПРЕСС, 2007.
11. *Котлов, Ф.В.* Изменение природных условий территории Москвы под влиянием деятельности человека и их инженерно-геологическое значение / Ф.В. Котлов. М.: АН СССР, 1962.
12. *Котлов, Ф.В.* Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека / Ф.В. Котлов. М.: Недра, 1978.
13. *Хазанов, М.И.* Искусственные грунты, их образование и свойства / М.И. Хазанов. М.: Наука, 1975.
14. Классификация техногенных грунтов / А.П. Афонин [и др.] // Инженерная геология. 1990. № 1. С. 115–121.
15. *Огородникова, Е.Н.* Техногенные грунты / Е.Н. Огородникова, С.К. Николаева. М.: РУДН, 2017.
16. Грунтоведение / В.Т. Трофимов [и др.]; под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2005.
17. Инженерная геология России. Т. 1: Грунты России / под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королева. М.: КДУ, 2011.
18. *Воронкевич, С.Д.* Основы технической мелиорации грунтов / С.Д. Воронкевич. М.: Научный мир, 2005.
19. Техническая мелиорация пород / С.Д. Воронкевич [и др.]; под ред. С.Д. Воронкевича. М.: МГУ, 1981.

- 
20. Противофильтрационные завесы плотин: из опыта изысканий, проектирования и строительства / науч. ред. А.Г. Лыкошин. М.: Госстройиздат, 1963.
21. *Кудрявцев, И.А.* Основания и фундаменты / И.А. Кудрявцев, К.Н. Пироговский. Гомель: БелГУТ, 2003.
22. *Дорман, Я.А.* Специальные способы работ при строительстве метрополитенов / Я.А. Дорман. М.: Транспорт, 1981.
23. *Чураков, А.И.* Производство специальных работ в гидротехническом строительстве / А.И. Чураков. М.: Стройиздат, 1976.
24. *Власов, С.Н.* Строительство метрополитенов / С.Н. Власов, В.В. Торгалов, Б.Н. Виноградов. М.: Транспорт, 1987.
25. *Ибрагимов, М.Н.* Закрепление грунтов под Кафедральным собором при строительстве линии метрополитена в Минске / М.Н. Ибрагимов, Ю.А. Грачев, С.С. Мельников // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2000. № 5. С. 19–22.
26. *Галкин, А.Н.* Инженерная геология Беларуси: в 3 ч. Ч. 1: Грунты Беларуси / А.Н. Галкин; под науч. ред. В.А. Королева. Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2016.
27. *Крутов, В.И.* Основания и фундаменты на просадочных грунтах / В.И. Крутов. Киев: Будівельник, 1982.
28. Основания, фундаменты и подземные сооружения: справочник проектировщика / Е.А. Сорочан [и др.]. М.: Стройиздат, 1985.
29. *Коротеев, Д.В.* Производство работ по термоупрочнению грунтов / Д.В. Коротеев. М.: Стройиздат, 1983.
30. *Соколович, В.Е.* Химическое закрепление грунтов / В.Е. Соколович. М.: Стройиздат, 1980.
31. *Ржаницын, Б.А.* Химическое закрепление грунтов в строительстве / Б.А. Ржаницын. М.: Стройиздат, 1986.
32. *Баранов, Н.Н.* Усиление фундаментов и упрочнение оснований существующих сооружений / Н.Н. Баранов, М.И. Никитенко, А.И. Егоров // Строительство и архитектура Белоруссии. 1986. № 1. С. 28–29.
33. *Никитенко, М.И.* Опыт использования буроинъекционных анкеров, свай и упрочнения грунтов в геотехнике Беларуси / М.И. Никитенко // Будаўніцтва – Строительство – Konstruktion. 2003. № 3–4. С. 63–81.
34. *Никитенко, М.И.* Буроинъекционные анкеры и сваи при возведении и реконструкции зданий и сооружений / М.И. Никитенко. Минск: БНТУ, 2007.
35. *Бойко, И.Л.* Струйная технология в геотехнической практике Республики Беларусь / И.Л. Бойко, М.И. Никитенко, Р.М. Аль-Хаснави; редкол.: М.И. Никитенко (отв. ред.) [и др.] // Геотехника Беларуси: наука и практика: матер. междунар. науч.-техн. конф., Минск, 23–25 октября 2013 г.: в 2 ч. / БНТУ. Минск, 2013. Ч. 2. С. 38–51.
36. Основы геокриологии. Ч. 5: Инженерная геокриология / под ред. Э.Д. Ершова. М.: МГУ, 1999.
37. *Клементьев, В.П.* Изменение естественной обстановки под влиянием оседания земной поверхности при отработке Старобинского месторождения калийных солей / В.П. Клементьев, К.А. Степанов // Охрана окружающей среды калийных производств. Минск: Наука и техника, 1979. С. 60–65.

38. Дзекцер, Е.С. Закономерности формирования процесса подтопления застраиваемых территорий грунтовыми водами / Е.С. Дзекцер // Процессы подтопления застроенных территорий грунтовыми водами (прогноз и защита): тез. докл. Всесоюзн. совещ., Новосибирск, 9–11 октября 1984 г. / ИГД АН СССР. Новосибирск, 1984. Ч. 1. С. 5–9.

39. Семенюк, Я.Д. Железобетонные пространственные фундаменты жилых и гражданских зданий на неравномерно деформируемом основании / Я.Д. Семенюк. Могилев: Белорусско-Российский ун-т, 2003.

40. Королев, В.А. Очистка грунтов от загрязнений / В.А. Королев. М.: Наука; Интерпериодика, 2001.

41. Оценка влияния нефтяного загрязнения на теплопроводность грунтов на основе результатов комплексных экспериментальных исследований / Р.Г. Мотенко [и др.] // Город и геологические опасности: матер. междунар. конф., Санкт-Петербург, 17–21 апреля 2006 г. / ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. СПб., 2006. Т. 2. С. 18–20.

42. Середин, В.В. Исследование степени загрязнения углеводородами грунтов территорий нефтегазовых месторождений / В.В. Середин // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2014. № 12. С. 67–74.

43. Копылов, Ю.Н. Изменение свойств песчаного и глинистого грунта в результате воздействия моторного масла / Ю.Н. Копылов // Сб. науч. ст. молодых ученых и студентов. Тамбов: Изд-во Тамбов. гос. техн. ун-та, 2003. С. 31–33.

44. Иванов, Н.Н. Строительство автомобильных дорог. Ч. 2 / Н.Н. Иванов. М.: Автотрансиздат, 1957.

45. Борисова, Е.Г. Основы методики лабораторных исследований при искусственном укреплении грунтов / Е.Г. Борисова. М.: Изд-во МГУ, 1954.

46. Богатов, Б.А. Открытые горные работы калийного производства в Беларуси / Б.А. Богатов, А.Д. Смычник, С.Ф. Шемет. Минск: Технопринт, 2004.

47. Шпаков, О.Н. Карст техногенных соляных отложений / О.Н. Шпаков, В.П. Клементьев // Охрана окружающей среды калийных производств. Минск: Наука и техника, 1979. С. 65–71.

48. Винокуров, Е.Ф. Строительство на пойменно-намывных основаниях / Е.Ф. Винокуров, А.С. Карамышев. Минск: Вышэйшая школа, 1980.

49. Мелентеев, В.А. Намывные гидротехнические сооружения / В.А. Мелентеев, Н.П. Колпашиников, Б.А. Волнин. М.: Госстройиздат, 1973.

50. Русинов, И.Я. Исследование физико-механических характеристик намытых песчаных грунтов, укладываемых в насыпи на летных полях аэродромов при производстве работ методом гидромеханизации: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / И.Я. Русинов. М., 1958.

51. Лобасов, П.Д. Проектирование и намыв территорий, подлежащих застройке / П.Д. Лобасов. Л.: Госстройиздат, 1956.

52. Галкин, А.Н. Литотехнические системы Белоруссии: закономерности функционирования, мониторинг и инженерно-геологическое обоснование управления: автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук: спец. 25.00.08 / А.Н. Галкин; МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2014.

53. Инженерная геология СССР. Платформенные регионы европейской части СССР: в 2 кн. / Е.М. Сергеев [и др.]; под ред. И.С. Комарова [и др.]. М.: Недра, 1991.

54. Фосфогипс и его использование / В.В. Иваницкий [и др.]; под ред. С.Д. Эвенчика, А.А. Новикова. М.: Химия, 1990.
55. *Ивочкина, М.А.* Инженерно-геологическое обеспечение устойчивости отвалов фосфогипса: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 25.00.16 / М.А. Ивочкина; Нац. минер.-сырьевой ун-т «Горный». СПб., 2013.
56. *Лысухо, Н.А.* Отходы производства и потребления, их влияние на природную среду / Н.А. Лысухо, Д.М. Ерошина. Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2011.
57. *Чудаков, М.И.* Промышленное использование лигнина / М.И. Чудаков. М.: Лесн. пром-ть, 1983.
58. *Холькин, Ю.И.* Технология гидролизных производств / Ю.И. Холькин. М.: Лесн. пром-ть, 1989.
59. *Грицай, М.В.* Исследование структурно-механических свойств гидролизного лигнина / М.В. Грицай, Е.И. Ахмина // Труды ВНИИ гидролиз. 1971. Вып. 21. С. 146–154.
60. Экологические аспекты захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах / Д.М. Ерошина [и др.]. Минск: Бел НИЦ «Экология», 2010.
61. *Синяков, В.Н.* Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы строительства современных полигонов хранения твердых бытовых отходов в Западном Прикаспии / В.Н. Синяков, Ю.Л. Беляева, С.В. Кузнецова. М.: Высшая школа, 2004.
62. *Гальперин, А.М.* Техногенные массивы и охрана окружающей среды / А.М. Гальперин, В. Ферстер, Х.-Ю. Шеф. М.: Изд-во МГГУ, 1997.
63. *Жиленков, В.Н.* Опыт исследований фильтрационных и геомеханических свойств твердых бытовых отходов / В.Н. Жиленков // Геоэкология. 2002. № 3. С. 275–280.
64. *Матюшин, Г.Н.* Археологический словарь / Г.Н. Матюшин. М.: Учеб. лит., 1996.
65. *Саваренский, Ф.П.* Инженерно-геологические свойства горных пород территории Москвы / Ф.П. Саваренский // Геология и реконструкции Москвы. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1938. С. 119–234.
66. *Котлов, Ф.В.* Культурный слой г. Москвы и его инженерно-геологическая характеристика / Ф.В. Котлов // Очерки гидрогеологии и инженерной геологии Москвы и ее окрестностей. М.: МОИП, 1947. С. 3–117.
67. *Котлов, Ф.В.* Антропогенные геологические процессы и явления на территории города / Ф.В. Котлов. М.: Наука, 1977.
68. Грунтоведение / Е.М. Сергеев [и др.]; под ред. Е.М. Сергеева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973.
69. *Пашкин, Е.М.* Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятника архитектуры / Е.М. Пашкин. М.: Высшая школа, 1998.
70. *Левко, О.Н.* Витебск XIV–XVIII вв. (стратиграфия, хронология, социально-историческая топография и технология производств) / О.Н. Левко. Минск: Наука и техника, 1984.
71. *Бубенько, Т.С.* Средневековый Витебск. Посад – Нижний замок (X – первая половина XIV в.) / Т.С. Бубенько. Витебск: Изд-во ВГУ им. П.М. Машерова, 2004.
72. *Никифоров, А.А.* Культурный слой и его значение в сохранении памятников истории и культуры: дис. ... канд. геолого-минералогических наук: 04.00.07 / А.А. Никифоров. М., 1995.

---

73. *Кутепов, Ю.И.* Научно-методические основы инженерно-геологического обеспечения отвалообразования при разработке угольных месторождений: автореф. дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.15.15 / Ю.И. Кутепов; МГГУ. М., 1999.

74. *Иванов, И.П.* Некоторые особенности исследования физико-механических свойств солеотходов калийного производства в связи с их размещением в отвалы / И.П. Иванов, Н.М. Головин // Гидрогеология и охрана недр при разработке соляных месторождений. Л., 1976. С. 105–112.

75. *Лях, В.Н.* Опыт применения фундаментов на насыпных основаниях при строительстве зданий ледовых дворцов в Республике Беларусь / В.Н. Лях // Строительная наука и техника. 2011. № 2. С. 23–33.

76. *Сеськов, В.Е.* Строительство промышленных зданий и сооружений на основаниях из геомассивов с применением песчано-гравийных и щебеночных свай / В.Е. Сеськов, В.Н. Лях. Минск: БелНИИТИ; БелНИИС, 1994.

77. *Сеськов, В.Е.* Разработки БелНИИС для фундаментостроения / В.Е. Сеськов // Строительство и недвижимость. 1997. № 28.

78. *Сеськов, В.Е.* Эффективные конструкции и методы устройства оснований и фундаментов в Республике Беларусь / В.Е. Сеськов, В.Н. Лях // Строительная наука и техника. 2005. № 1. С. 91–94.

79. *Осадчий, В.* Технология Минского НИИ радиоматериалов позволяет полностью перерабатывать фосфогипс / В. Осадчий // Строительство и недвижимость. 1997. № 37.

### **Нормативные правовые акты**

ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Стандарт-информ, 2013.

СНБ 1.02.01-96. Инженерные изыскания для строительства. Минск: Мин-во архит. и строит. Респ. Беларусь, 1996.

СНиП 2.06.05-84. Плотины из грунтовых материалов / Госстрой России. М.: АПП ЦИТП, 1991.

СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. III. Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов / Госстрой России. М.: ПНИИИС, 2000. С. 96–111.

СТБ 943-2007. Грунты. Классификация. Минск: Госстандарт, 2008.

---

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

ВВЕДЕНИЕ .....	3
<b>ГЛАВА 1. Общее понятие о техногенных грунтах, их классификация и факторы образования .....</b>	<b>5</b>
<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	<i>20</i>
<b>ГЛАВА 2. Характеристика техногенных грунтов, созданных преобразованием природных грунтов в условиях их естественного залегания .....</b>	<b>22</b>
2.1. Улучшенные грунты .....	22
2.1.1. Скальные грунты .....	22
2.1.2. Дисперсные грунты .....	25
2.1.3. Криогенные грунты .....	50
2.2. Ухудшенные грунты .....	53
<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	<i>59</i>
<b>ГЛАВА 3. Характеристика техногенных грунтов, созданных перемещением природных грунтов в процессе строительной и другой производственной деятельности .....</b>	<b>60</b>
3.1. Насыпные грунты .....	60
3.2. Намывные грунты .....	71
<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	<i>86</i>
<b>ГЛАВА 4. Характеристика техногенных грунтов, созданных как отходы хозяйственной деятельности человека .....</b>	<b>88</b>
4.1. Насыпные промышленные грунты .....	88
4.2. Намывные промышленные грунты .....	106
<i>Вопросы для самоконтроля.....</i>	<i>118</i>
<b>ГЛАВА 5. Особенности инженерно-геологических изысканий на территориях распространения техногенных грунтов .....</b>	<b>119</b>
5.1. Общие положения и содержание инженерно-геологических изысканий .....	119
5.2. Инженерно-геологические изыскания для разработки предпроектной документации .....	125
5.3. Инженерно-геологические изыскания для разработки проекта .....	127
5.4. Инженерно-геологические изыскания для разработки рабочей документации, а также в период строительства и эксплуатации зданий и сооружений .....	129
<i>Вопросы для самоконтроля .....</i>	<i>131</i>

---

<b>ГЛАВА 6. Опыт создания и использования техногенных грунтов в качестве оснований и среды для различных инженерных сооружений. Техногенные грунты как полезные ископаемые</b> .....	133
<i>Вопросы для самоконтроля</i> .....	147
<b>ГЛОССАРИЙ</b> .....	148
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	186

Учебное издание

**Галкин Александр Николаевич**  
**Акулевич Анатолий Францевич**  
**Павловский Александр Илларионович**  
**Галезник Ольга Ивановна**

## **ТЕХНОГЕННЫЕ ГРУНТЫ**

Учебное пособие

Редактор *Е.В. Савицкая*  
Художественный редактор *Т.В. Шабунько*  
Технический редактор *Н.А. Лебедевич*  
Компьютерная верстка *Н.В. Шабуня*  
Корректор *Е.В. Савицкая*

Подписано в печать 27.02.2020. Формат 70×90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,04. Уч.-изд. л. 12,0. Тираж 200 экз. Заказ 473.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство «Вышэйшая школа»». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/3 от 08.07.2013. Пр. Победителей, 11, 220004, Минск. e-mail: market@vshph.com http://vshph.com

Открытое акционерное общество «Типография «Победа»». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 2/38 от 29.01.2014. Ул. Тавлая, 11, 222310, Молодечно.