

# ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАМЫВНЫХ ПЕСКОВ В РАЙОНЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

## ENGINEERING-GEOLOGICAL CHARACTERISTIC OF INWASH SANDS IN THE ST. PETERSBURG AREA

**АРХАНГЕЛЬСКИЙ И.В.**

Генеральный директор ООО «НПФ «НЕДРА»», к. г.-м. н.,  
г. Санкт-Петербург, ivanendra@bk.ru

**ARKHANGELSKY I.V.**

General director of the «NEDRA» Ltd. scientific and production company, PhD  
(candidate of science in Geology and Mineralogy), St. Petersburg, ivanendra@bk.ru

**Ключевые слова:**

намывной песок; слоистость; уплотнение; упрочнение; биогаз.

**Key words:**

inwash sand; bedding; compaction; strengthening; biogas.

### Аннотация

В статье рассматриваются состав, строение и физико-механические свойства намывных песков в районе г. Санкт-Петербурга. Отмечается образование биогазов в процессе намыва. Дается прогноз упрочнения намывных песков во времени.

### ВВЕДЕНИЕ

В период с сентября 2013 г. по май 2014 г. ООО «НПФ «НЕДРА»» выполняло инженерно-геологический контроль при производстве строительных работ по образованию территории многофункционального морского перегрузочного комплекса (ММПК) «Бронка», расположенного в 26 км от г. Санкт-Петербурга на южном побережье Финского залива. Западнее объекта на расстоянии около 500 м находится дамба Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений, соединяющая южный берег Финского залива с островом Котлин (г. Кронштадтом). Образованная территория разместилась в прибрежной зоне Финского залива — на малых глубинах в акватории и на примыкающей суше. Фактические размеры образованной территории составляют: по северной границе — 1130 м, по южной — 980 м, по западной — 660 м, по восточной — 870 м. Общая площадь, на которой предусматривается размещение ММПК «Бронка», составляет около 125 га.

Основными задачами инженерно-геологического контроля являлись:

- контроль качества намыва грунта на основании визуальных наблюдений и данных полевых и лабораторных исследований;
- инженерно-геологическая оценка состояния и свойств намывных грунтов в период намыва, накопление и анализ данных;
- определение осадок подстилающих грунтов;
- оценка осадок намываемой территории.

Конечными целями инженерно-геологического контроля являлись определение физико-механических характеристик намывных песков по состоянию на момент завершения инженерно-геологического контроля и прогноз их изменений во времени на ближайшие 4 года.

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО ОБРАЗОВАНИЮ ТЕРРИТОРИИ

Образование территории ММПК «Бронка» производилось путем намыва песка. Намыву предшествовали гидравлическая разработка песчаных отложений

### Abstract

The article deals with the composition, structure and mechanical properties of inwash sands in the St. Petersburg area. The biogas formation in the process of inwash is noted. Strengthening of the inwash sands in time is forecasted.



землесосными снарядами и гидротранспорт разжиженного грунта по трубопроводам. Для намыва использовался песок, доставляемый из подводного карьера, расположенного в Финском заливе, и извлекаемый при производстве работ по созданию подходного канала к ММПК «Бронка». Разжиженный грунт подавался по подводному дюкеру, соединенному с распределительным береговым пульпопроводом, который подводился к соответствующей карте намыва. После намыва песка велась планировка территории бульдозером. Намыв был начат 18 августа 2013 г.

По контуру образования территории были первоначально отсыпаны первичные дамбы обвалования пионерным способом из крупного песка. В их пределах образуемая территория должна была быть разбита на 6 карт дополнительными дамбами обвалования. Но фактически территория была разбита на 5 карт, т.к. между картами № 1 и 3 дамба отсутствовала. Ширина дамб обвалования была равна 6 м. Абсолютная отметка их верха составляла 3 м при условии намыва до отметки 1,65 м. Но это условие не было выполнено, т.к. фактическая отметка намыва оказалась значительно выше (табл. 1).

Для защиты намываемой территории от размыва со стороны акватории внешние откосы дамб обвалования были закреплены мешками с песком. Была устроена система дренажа из водосбросных труб и водосбросных (шандорных) колодцев. После окончания намыва трубы и колодцы заделывались песком и бетоном.

Перед началом намыва в береговой зоне предполагалось полностью снять почвенно-растительный слой и убрать кустарник. Однако эти работы были выполнены лишь частично, что привело в дальнейшем к загниванию растительных остатков и образованию биогазов под толщей намывных грунтов.

С появлением отрицательных температур воздуха 26 ноября 2013 г. намыв был остановлен, распределительный береговой пульпопровод демонтирован. Ранее, в сентябре, был закончен намыв на картах № 5 и 6, где в октябре 2013 г. велась планировка территории. В январе 2014 г. началась отсыпка щебня кристаллических пород на карты № 5 и 6.

Инженерно-геологический контроль территории включал инженерно-геодезические, инженерно-геологические, лабораторные и камеральные работы.

## **ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАННОЙ НАМЫВОМ ТЕРРИТОРИИ**

В геологическом строении прибрежной зоны Финского залива, на которую производился намыв песков, принимают участие четвертичные отложения мощностью от 10 до 35 м и более, подстилаемые протерозойскими глинами.

Особенностью инженерно-геологических условий объекта является повсеместное развитие мощной толщи среднедеформируемых ледниковых отложений, залегающих непосредственно под техногенными (намывными) грунтами или на глубине 1–2 м, реже до 5 м, от подошвы намывных грунтов под маломощным слоем морских и биогенных отложений.

Намывные пески, по существу, являются переработанными и переотложенными естественными образо-

ваниями и наследуют от последних их минеральный состав, крупность зерен и примеси.

В минеральном составе намывных песков преобладает кварц. В меньших количествах содержатся полевые шпаты. В незначительном количестве присутствуют слюды.

По гранулометрическому составу на разных картах пески неодинаковы. Так, на картах № 1, 3, 6 преобладают мелкие пески; на № 2 – пылеватые; на № 4, 5 – средней крупности. Среди них встречаются прослойки песков иной крупности, а также скопления крупнообломочного материала.

В толще намывных песков на картах № 2 и 4 встречены прослойки глинистых грунтов мощностью от 1 до 50 см, которые образовались при намыве песка, извлекаемого при производстве работ по созданию подходного канала.

Цвет песков непостоянен — светло-желтый, желтый, коричневый, желто-коричневый, светло-серый, серый, темно-серый. Пески, доставляемые из морского карьера, преимущественно желтые; из подходного канала — в основном серых оттенков (рис. 1).

Для намывных песков характерно явление фракционирования. Оно заключается в том, что непосредственно у выхода пульпы из пульпопровода откладываются наиболее крупные частицы. По мере удаления от трубы размер частиц уменьшается — соответственно, меняется гранулометрический состав намывных песков. В случае если труба переносится на новое место, ранее отложенные пески перекрываются отложениями иного гранулометрического состава.

Степень влажности песков непостоянна и зависит от времени намыва. В процессе отбора образцов встречались пески малой, средней степени водонасыщения и насыщенные водой. Преобладали пески средней степени водонасыщения.

Плотность сложения намывных грунтов также неодинакова. При отборе проб преобладали пески средней плотности, реже встречались пески плотного сложения. Грунтов рыхлого сложения не наблюдалось. На завершающем этапе инженерно-геологического контроля согласно данным статического зондирова-



**Рис. 1.** Часть намывной территории. На заднем плане — дамба Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений

ния, выполненного в апреле 2014 г., на образованной территории преобладали намывные пески плотного сложения.

Намывной песок на рассматриваемой территории в основном имеет ярко выраженную слоистую текстуру (рис. 2). Многолетний опыт изучения намывных песчаных грунтов показывает, что их текстура является важным фактором их упрочнения, т.е. формирования структурных связей, во времени. Чаще всего наблюдалось переслаивание слоев толщиной от 0,2–1,0 до 20–30 см, различавшихся по размерам зерен. Имелись различия и по цвету, когда переслаивались желтые и серые слои.

Слоистость обуславливает анизотропность намывных песков — прочностную и фильтрационную. В направлении слоистости коэффициент фильтрации, как правило, выше, чем в перпендикулярном ему. Коэффициент анизотропии определяется по формуле:

$$A = k_s/k_n,$$

где  $k_s$ ,  $k_n$  — коэффициенты фильтрации вдоль и поперек слоистости.

На рассматриваемой площадке коэффициент анизотропии в основном меньше 1,5, поэтому определение коэффициента фильтрации в направлении слоистости согласно РД 34 15.073-91 не производилось [4].

Микроскопические исследования слоев на объекте не велись, однако известно, что песчаные частицы и их агрегаты располагаются в намывных песках своей длинной стороной в направлении струи намыва, в продольном направлении осуществляется наибольшее количество контактов между частицами [2].

Структура намывных песков характеризуется прежде всего размером и формой зерен, количественным соотношением разных групп частиц. Установлено, что в намытом массиве преобладают мелкие частицы размером 2,5–0,1 мм. Их содержание в массиве в среднем составляет более 30%. Встречаются также глинистые частицы размером менее 0,005 мм, пылеватые частицы размером 0,05–0,005 мм, средние — 0,5–0,25 мм, круп-

ные — 1–0,5 мм, грубые — 2–1 мм, гравий — 10–2 мм. На карте № 2 встречены также галька (200–10 мм) и мелкие валуны размером до 300 мм.

Важнейшей структурной особенностью песков являются структурные связи, которые отражают характер и степень взаимодействия между отдельными частицами (зернами) и иногда между их агрегатами. В песках выделяются структурные связи трех категорий, обуславливающих различную степень прочности отложений, — капиллярные, механические и химические [5]. Капиллярные связи обычно малы по своему энергетическому уровню. Механические структурные связи, обусловленные эффектом зацепления зерен песков, нередко обладают большим энергетическим уровнем, их роль может быть весьма существенной в проявлениях прочностных и деформационных свойств песков, их динамической устойчивости. Связи химической природы, определяющие цементацию, обладают наибольшим энергетическим уровнем, они являются следствием длительного упрочнения намывных песков на разных стадиях их формирования и преобразования [5].

Как видно из табл. 1, абсолютные отметки поверхности и толщина слоя намывных песков на разных картах неодинаковы. Средние абсолютные отметки изменяются от 2,37 до 5,26 м, средняя толщина слоя — от 2,88 до 6,61 м. В северной части карт № 1 и 2 после выполнения завершающей топографической съемки велась разработка (срезка) песков с вывозом срезанного материала за пределы карт. Поэтому фактическая средняя мощность намывных песков на картах № 1 и 2 меньше приведенной в табл. 1.

### ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Гидрогеологические условия образованной территории обусловлены слабой проницаемостью отложений, подстилающих намывные пески. Атмосферные осадки, не имея в большинстве случаев возможности фильтроваться в нижележащие отложения, начинают скапливаться в намывных песках, что способствует



Рис. 2. Типы слоистой текстуры намывных песков



Таблица 1

Средние высотные отметки и толщина намывного слоя песков, м				
№ карты	Сред. абс. отметка		Средняя толщина намывного слоя песка	Примечание
	поверхности намывной территории	уровня дна до намыва		
1	4,80	-1,55	6,35	-
3	3,30	-0,64	3,90	Между картами № 1 и 3 дамба обвалования отсутствует
2	5,26	-1,35	6,61	С прослоями глинистого грунта мощностью до 0,2 м
4	3,43	-0,77	4,20	С прослоями глинистого грунта мощностью до 0,5 м
5	2,38	-0,50	2,88	Часть карты занята складом щебня
6	2,37	-0,55	2,92	Часть карты занята складом щебня

формированию в них техногенного водоносного горизонта, который, объединяясь с водами биогенных отложений и морских песков, создает первый (верхний) водоносный горизонт. Его воды безнапорные. Однако на участках залегания глинистых прослоев воды в толще намывных песков приобретают небольшой напор — до 20–40 см.

Питание горизонта происходит за счет атмосферных осадков, движение подземного потока идет в направлении с юга на север, разгрузка осуществляется в Финский залив. Режим верхнего горизонта связан с колебаниями уровня воды в заливе. В настоящее время стоку подземных вод в залив препятствуют железобетонные стенки, сооруженные вдоль причального фронта. В результате следует ожидать подпора подземных вод и повышения их уровня.

Нижним водоупором для верхнего водоносного горизонта служат глинистые грунты верхней части лужской морены.

Водоносный горизонт, приуроченный к намывным пескам, зафиксирован 28.04.2014 г. на разных глубинах от поверхности образованной территории, но на близких абсолютных отметках: вдоль южной границы — на отметках 1,0–1,1 м, вдоль северной — 0,7–0,8 м. Иными словами, намывные пески обводнены незначительно. Мощность их обводненного слоя составляет около 1 м. Уровень воды существенно понизился, несмотря на слабую проницаемость подстилающих естественных грунтов, благодаря эффективной работе водоотводящих канав.

По данным лабораторных исследований средние значения коэффициента фильтрации намывных песков составляют:

Коэффициент фильтрации, м/сут	№ карты
7,4	1
5,0	2
7,1	3
5,7	4
7,3	5
6,5	6

Таким образом, на образованной территории преобладает коэффициент фильтрации около 7 м/сут.

## ОБРАЗОВАНИЕ БИОГАЗОВ

Опыт строительства в Санкт-Петербурге показывает, что любая намывная территория является потенциально опасной относительно образования биогазов, которые представляют собой смесь газов, образующихся при микробиологическом разложении растительных остатков в природных условиях без доступа воздуха.

Газообразование в пределах намывной территории ММПК «Бронка» происходит в связи с тем, что почвенно-растительный слой и кустарник перед началом намыва были удалены лишь частично и в итоге началось разложение растительных остатков. Растительные остатки разлагаются также в толще биогенных и морских отложений. Образующийся газ при отсутствии препятствий свободно выходит в атмосферу. Если имеется препятствие, то газ начинает скапливаться под ним и при возрастании давления может прорвать его или выйти в каком-нибудь ослабленном месте.

Газообразование в процессе намыва впервые было обнаружено в октябре 2013 г. у южной границы карты № 2 на участке размером 15×20 м, покрытом глинистыми грунтами мягкопластичной консистенции мощностью до 0,2 м. В момент обследования на поверхности участка наблюдались небольшие конусовидные возвышенности (бугорки), из которых при легком вскапывании выходил биогаз с резким запахом сероводорода и изливалась вода, обладавшая небольшим напором.

Аналогичные конусовидные возвышенности были обнаружены и на восточной границе карты № 4 в декабре 2013 г. в период низких температур, когда грунты промерзли. В начале апреля 2014 г. в восточной части намывного участка карты № 4, где с поверхности до глубины 0,5 м залегали намывные глинистые грунты, также наблюдались выходы биогазов.

На намывной территории прослой глинистых грунтов являются экраном, препятствующим свободному выходу биогазов в атмосферу. Газ накапливается под глинистым экраном, а затем прорывает его.

В процессе строительства и после его окончания будут созданы такие препятствия для выхода биогазов в атмосферу, как асфальтовые и бетонные покрытия, уплотненные насыпные грунты, фундаменты зданий и сооружений. Биогаз начнет скапливаться под ними, его

Таблица 2

Нормативные значения физико-механических характеристик намывных песков на 01.05.2014 г.										
№ карты*	Пески	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Влажность W, %	Коэффициент пористости e	Коэффициент водонасыщения S <sub>r</sub>	Удельное сцепление c, кПа	Угол внутреннего трения φ, град.	Модуль общей деформации E, МПа
		частиц грунта ρ <sub>s</sub>	грунта ρ	сухого грунта ρ <sub>d</sub>						
1	Мелкие плотные	2,64	1,97	1,77	11,4	0,494	0,61	6	33	22
2	Пылеватые средней плотности с глинистыми прослоями	2,65	1,78	1,63	9,0	0,626	0,38	3	26	12
3	Мелкие плотные	2,64	1,83	1,66	10,5	0,592	0,47	4	30	17
4	Средней крупности средней плотности с глинистыми прослоями	2,64	1,75	1,63	7,5	0,620	0,32	2	32	19
5	Средней крупности средней плотности	2,64	1,81	1,69	7,3	0,560	0,34	3	35	28
6	Мелкие плотные	2,64	1,98	1,71	15,7	0,540	0,77	6	33	19

\* Карты № 1 и 3 не разделены дамбой обвалования.

давление будет возрастать, и в определенный момент он под возрастающим давлением может прорвать всю вышележащую толщу в ослабленном месте — в котловане, траншее, колодце и пр., реализуясь в виде газовой-грязевого выброса. Как показывает опыт, такие выбросы могут сопровождаться воспламенением. Известно, что биогаз обладает свойством горючести. Если же в его составе содержится метан в количестве более 20%, он становится взрывоопасным. Поэтому на территории морского порта должно быть предусмотрено бурение разгрузочных скважин для свободного выхода биогаза в атмосферу.

В случае быстрого повышения уровня подземных вод, вызванного подъемом воды в Невской губе, ожидается резкое усиление давления в пластах с газообразованием, что в значительной степени повышает опасность газовой-грязевого выброса.

Газообразование представляет не только экологическую опасность — оно приводит к изменениям первоначальных свойств грунтов. Даже небольшое накопление малорастворимых газов в песчано-глинистых отложениях может способствовать разуплотнению этих грунтов, что проявится уже при малых динамических и вибрационных воздействиях. Высокое содержание диоксида углерода способствует повышению агрессивности подземных вод и, как следствие, усиливает биокоррозию строительных материалов, труб, коммуникаций [1].

### ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАМЫВНЫХ ПЕСКОВ

Полевое определение плотности и отбор образцов намывных песков для лабораторных определений в процессе намыва производились из приповерхностного (до 1 м) слоя. Когда сверху намывался новый слой песков, исследования повторялись. Для оценки грунтов той части, из которой не производился отбор, в т.ч. подводного слоя, были использованы результаты статического зондирования.

На образованной территории ММПК «Бронка» для намывных песков карт № 1, 3, 6 характерно преимущественно плотное сложение, что соответствует результатам статического зондирования. Хотя иногда в нижней части слоя намывных грунтов встречаются пески средней плотности, их мощность не превышает 0,5–1,0 м. По результатам полевого определения плотности грунтов методом режущего кольца с поверхности до глубины 0,5–1,0 м преобладают пески средней плотности. Однако залегающие сверху пески в дальнейшем будут удалены до проектных отметок 1,65 м.

Для карт № 2, 4, 5 была принята средняя плотность сложения намывных песков по результатам статического зондирования.

Таким образом, по данным на 1 мая 2014 г. в массиве имели распространение намывные пески плотные и средней плотности.

За нормативные значения прочностных и деформационных характеристик намывных песков были приняты величины из работы И.В. Дудлера [3], в которой приведены данные, установленные на основании обработки материалов изучения намывных песков в разных регионах страны, рассмотрены намывные песчаные грунты разного гранулометрического состава и разной плотности сложения в период завершения начальной стадии диагенеза.

В таблице 2 приведены нормативные значения физико-механических характеристик намывных песков на завершающем этапе работ по инженерно-геологическому контролю, соответствующем по времени завершению начальной стадии диагенеза намывных песков (табл. 3).

### РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОСАДОЧНЫМИ МАРКАМИ

На территории намыва было установлено 66 марок. Среднее значение осадки по всем маркам на 5 декабря 2013 г. составило 0,036 м. Надо отметить, что осадки возрастали скачкообразно. Иными словами, наблюда-



лись не только осадки марок, но и их подъем, хотя общая тенденция свидетельствует о погружении. Подъем марки может быть связан с набуханием подстилающих грунтов вследствие их обводнения при намыве. Известно, что объем грунтов при набухании может увеличиваться на 25–30%. Однако набухание происходит только до определенного значения влажности, выше которого приращение объема грунтов прекращается.

В период после 5 декабря 2013 г. 18 марок было уничтожено при проведении строительных работ, а 10 — засыпано щебнем.

В период с января по март наблюдения за осадочными марками не дали положительного результата, поскольку они смерзлись с грунтом и оставались неподвижными. Наблюдения за осадками в апреле 2014 г. показали небольшую величину осадок, однако не исключены искажающие общую картину перемещения марок, связанные с морозным пучением.

Среднее значение осадки по сохранившимся маркам на 1 мая 2014 г. составило 0,049 м.

### **ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАМЫВНЫХ ПЕСКОВ**

#### *Формирование свойств намывных грунтов*

Опыт изучения намывных песков в разных регионах страны показывает, что, несмотря на их региональный характер, обусловленный спецификой геологических, климатических и других условий, для них характерны общие закономерности — прежде всего улучшение с течением времени физико-механических свойств. Выделяются 3 стадии формирования свойств намывных грунтов во времени: самоуплотнение, упрочнение и стабилизированное состояние.

*Самоуплотнение* связано с перемещением частиц грунта под действием сил собственного веса и понижения уровня подземных вод в массиве. Период водоотдачи и самоуплотнения намывных песков в большой степени зависит от фильтрационных свойств подсти-

лающих грунтов естественного основания. На рассматриваемом в данной статье объекте естественное основание сложено преимущественно глинистыми грунтами с очень низкой проницаемостью, практически являющимися водоупором. Поэтому процессы водоотдачи усложняются и продолжительность самоуплотнения возрастает. Однако водоотдача песков здесь ускорена благодаря работе водоотводящих канав.

Согласно СП 11-105-97 (ч. III, табл. 9.2 [6]) ориентировочное время самоуплотнения намывных песков, в качестве естественного основания которых служат глинистые грунты, составляет: 3 месяца для песков крупных и средней крупности, 6 месяцев для мелких, 12 месяцев для пылеватых, 24 месяца для песков и супесей с содержанием органических веществ.

Как указано выше, на картах образованной территории выявлены пески разного гранулометрического состава: мелкие (на картах № 1, 3, 6), средней крупности (№ 4, 5), пылеватые (№ 2). Таким образом, процесс самоуплотнения песков на картах № 1, 3, 5, 6 к моменту окончания инженерно-геологического контроля закончился. На карте № 4 в толще песков средней крупности залегают глинистые прослои, поэтому самоуплотнение, возможно, еще не закончилось. Однако наиболее крупный прослой толщиной 0,5 м вскоре после завершения контроля был выбран и заменен песчаными грунтами. На карте № 2 в толще пылеватых песков также залегают глинистые прослои, в связи с чем процесс самоуплотнения должен продолжаться более 12 месяцев. Вместе с тем данные статического зондирования показывают, что и на картах № 2 и 4 пески уплотнились до состояния средней плотности и плотного, чему способствовал отвод воды из толщи намывных песков за пределы территории.

Основным фактором улучшения прочностных и деформационных характеристик является упрочнение песков, связанное с возникновением структурных связей. После достижения намывными грунтами возраста 2,5 года интенсивность процесса упрочнения замед-

Таблица 3

<b>Стадии формирования свойств намывных песков</b>			
<b>Стадия</b>	<b>Характер процессов</b>	<b>Время окончания стадии</b>	<b>Характеристика намывных песков</b>
Седиментация (осаждение и накопление осадков)	Осадкообразование: выпадение минеральных частиц из потока гидросмеси на карту намыва	до 1–3 дней	рыхлое сложение; состояние, близкое к полному водонасыщению
Диогенез начальный (переход осадка в грунт)	Интенсивное уплотнение за счет гравитации, фильтрационного обжатия в процессе водоотдачи и пр.; начало упрочнения грунта	–6 месяцев	средней плотности и плотные, неупрочненные или слабо упрочненные
Диогенез поздний (формирование грунта)	Завершение уплотнения, развитие упрочнения морфологического (зацепление частиц) и цементационного (за счет геля кремниевой кислоты и др.), коагуляция мелкодисперсными частицами	1–3 года	плотные, среднеупрочненные и упрочненные
Эпигенез (преобразование сформировавшегося грунта)	Продолжение цементационного упрочнения с затуханием в конце стадии	до 10 лет	плотные, значительно упрочненные
Гипергенез (совокупность новых процессов преобразования намывных грунтов)	Изменения техногенные, гидрогеологических условий и пр.	-	-

ляется. Стабилизация упрочнения наступает при возрасте около 4 лет. К этому времени несущая способность намывного основания возрастает на 20–30% [2]. Срок 4 года принят в качестве нормативного в СП 22.13330.2011 (прил. Б, табл. Б.8 [7]).

В работе И.В. Дудлера [3] выделяются 4 стадии формирования и изменения свойств намывных грунтов во времени: седиментация, диагенез, эпигенез и гипергенез (см. табл. 3)

### Прогнозируемые значения физико-механических характеристик намывных грунтов

На территории ММПК «Бронка» преимущественное распространение имеют намывные медленно консолидируемые грунты (пески мелкие, пылеватые), уложенные на слабо дренированное основание, представленное преимущественно глинистыми грунтами, реже маломощными (0,1–1,8 м) морскими мелкими и пыле-

ватыми песками. Встречаются также среднеконсолидируемые (средней крупности), изредка хорошо консолидируемые (крупные и гравелистые) пески.

Исходные физико-механические характеристики намывных грунтов (соответствующие их физическому состоянию на 01.05.2014 г.) приведены в табл. 2. Исходя из них можно прогнозировать изменения физико-механических характеристик песков в последующие 4 года — время завершения их упрочнения (01.05.2018 г.). При этом предполагается, что грунты не будут нести дополнительных нагрузок.

За прогнозируемые физико-механические характеристики грунтов на 01.05.2018 г. приняты нормативные значения, рекомендуемые СП 22.13330.2011 (прил. Б, табл. Б.8 [7]). Данные значения распространяются на намывные пески в возрасте не менее 4 лет. Промежуточные значения (на 2015, 2016, 2017 гг.) установлены расчетом и интерполяцией. При этом значения модуля деформации грунтов установлены с применением годов-

Таблица 4

Прогнозируемые значения физико-механических характеристик намывных песков							
№ карты*	Пески	Дата прогноза	Плотность сухого грунта $\rho_{\text{д}}$ , г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости $e$	Удельное сцепление $c$ , кПа	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град.	Модуль общей деформации $E$ , МПа
1	Мелкие	01.05.15	1,78	0,483	7,0	33,7	26,4
		01.05.16	1,79	0,472	8,0	34,5	30,8
		01.05.17	1,81	0,461	9,0	35,2	36,0
		01.05.18	1,82	0,450	10,0	36,0	35,0
3	Мелкие	01.05.15	1,67	0,580	4,5	31,0	20,4
		01.05.16	1,68	0,570	5,0	31,5	23,8
		01.05.17	1,69	0,560	5,5	32,0	25,5
		01.05.18	1,70	0,550	6,0	33,0	27,0
2	Пылеватые с глинистыми прослоями	01.05.15	1,64	0,612	4,5	27,5	14,0
		01.05.16	1,66	0,598	6,0	29,0	17,0
		01.05.17	1,67	0,584	7,5	30,5	18,0
		01.05.18	1,69	0,570	9,0	32,0	19,0
4	Средней крупности с глинистыми прослоями	01.05.15	1,64	0,605	2,5	33,0	23,0
		01.05.16	1,66	0,590	3,0	34,0	26,0
		01.05.17	1,67	0,575	3,5	35,0	28,0
		01.05.18	1,69	0,560	4,0	36,0	30,0
5	Средней крупности	01.05.15	1,72	0,533	4,2	36,0	33,6
		01.05.16	1,75	0,506	5,5	37,0	39,2
		01.05.17	1,78	0,479	6,7	38,0	42,0
		01.05.18	1,82	0,450	8,0	39,0	45,0
6	Мелкие	01.05.15	1,72	0,535	6,5	33,5	23,0
		01.05.16	1,72	0,530	7,0	34,0	26,0
		01.05.17	1,73	0,525	7,5	34,5	28,0
		01.05.18	1,74	0,520	8,0	35,0	30,0

\* Карта № 1 не отделена дамбой от карты № 3.



Таблица 5

Нормативные значения прочностных и деформационных характеристик намывных и естественных песков					
Пески		с (кПа), φ (град.), E (МПа) (слева направо) при коэффициенте пористости e			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Средней крупности	намывные	8, 39, 45	4, 37, 32	3, 33, 25	2, 30, 17
	естественные	3, 40, 50	2, 38, 40	1, 35, 30	-, -, -
Мелкие	намывные	10, 36, 35	6, 33, 27	4, 30, 19	3, 27, 15
	естественные	6, 38, 48	4, 36, 38	2, 32, 28	-, 28, 18
Пылеватые	намывные	-, -, -	10, 33, 20	7, 29, 16	5, 25, 10
	естественные	8, 36, 39	6, 34, 28	4, 30, 18	2, 26, 11

вого повышающего коэффициента института ПНИИИС из работы И.В. Дудлера (табл. 2.10 [3]). Эти значения фактически соответствуют характеристикам, полученным интерполяцией.

В таблице 4 приведены прогнозируемые значения физико-механических характеристик грунтов на период с 01.05.2015 г. по 01.05.2018 г.

### СРАВНЕНИЕ НОРМАТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАМЫВНЫХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ ПЕСКОВ

Представляет интерес сравнение нормативных значений прочностных и деформационных характеристик намывных песков с возрастом намыва не менее 4 лет и песков естественного происхождения. В таблице 5 приведены характеристики указанных грунтов, принятые по таблицам Б.8 (для намывных песков) и Б.1 (для естественных грунтов) СП 22.13330.2011 [7]. Как из нее следует, удельное сцепление намывных песков по сравнению с естественными в 1,5–3,0 раза выше, угол внутреннего трения на 2,5–8% ниже, модуль общей деформации на 10–30% ниже. Иными словами, намывные пески обладают более высокой прочностью, но естественные пески менее сжимаемы.

### ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Общей закономерностью формирования намывных песков является улучшение со временем их физико-механических свойств благодаря процессам самоуплотнения и упрочнения.

2. Самоуплотнение песков на рассматриваемой территории обусловлено главным образом перемещением частиц грунта под действием собственного веса и эффективным отводом воды водоотводящими канавами (процесс закончился менее чем за полгода).

3. Важным фактором упрочнения является свойственная намывным пескам слоистая текстура, способствующая возникновению структурных связей вместе с такими факторами, как гранулометрический состав, влажность грунта, химический состав грунта и воды. Наиболее значимым является морфологическое (зацепления) и цементационное (за счет геля кремниевой кислоты и др.) упрочнение. Основное упрочнение песков на изучаемой территории ожидается в течение 4 лет.

4. Территория ММПК «Бронка» опасна в отношении газообразования, обусловленного микробиологическим разложением растительных остатков в природных условиях без доступа воздуха.

5. Прослой глинистых грунтов в толще намывных песков играют отрицательную роль: они снижают несущую способность толщи и служат экранами для скапливания биогазов.

6. В процессе и после окончания строительства на изучаемой площадке возможны проявления инженерно-геологического (техногенного) процесса в виде газовой-грязевых выбросов, сопровождающихся воспламенением. Для исключения таких выбросов на территории морского порта должны быть пробурены разгрузочные скважины, обеспечивающие свободный выход биогазов в атмосферу.

7. Намывные пески обладают более высокой прочностью, чем естественные, но более низким значением модуля общей деформации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологический атлас Санкт-Петербурга / отв. ред. Н.Б. Филиппов, науч. ред. М.А. Спиридонов. СПб.: ГГУП СФ «Минерал», 2009. 57 с.
2. Давыдов В.Ф. Структурные и текстурные особенности намывных песчаных грунтов и влияние их на несущую способность оснований: автореф. дис. ... канд. тех. наук. М.: Институт оснований и подземных сооружений, 1990. 24 с.
3. Дудлер И.В. Инженерно-геологический контроль при возведении и эксплуатации намывных сооружений. М.: Стройиздат, 1987. 182 с.
4. РД 34 15.073-91. Руководство по геотехническому контролю за подготовкой оснований и возведением грунтовых сооружений в энергетическом строительстве. М.: Главтехстрой Министерства энергетики и электрификации СССР, 1990.
5. Рекомендации по комплексному изучению и оценке строительных свойств песчаных грунтов. М.: Стройиздат, ПНИИИС, МИСИ, 1984.
6. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть III: Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов. М.: Госстрой России, 2000.
7. СП 22.13330.2011 (актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*). Основания зданий и сооружений. М.: Минрегион России, 2011.