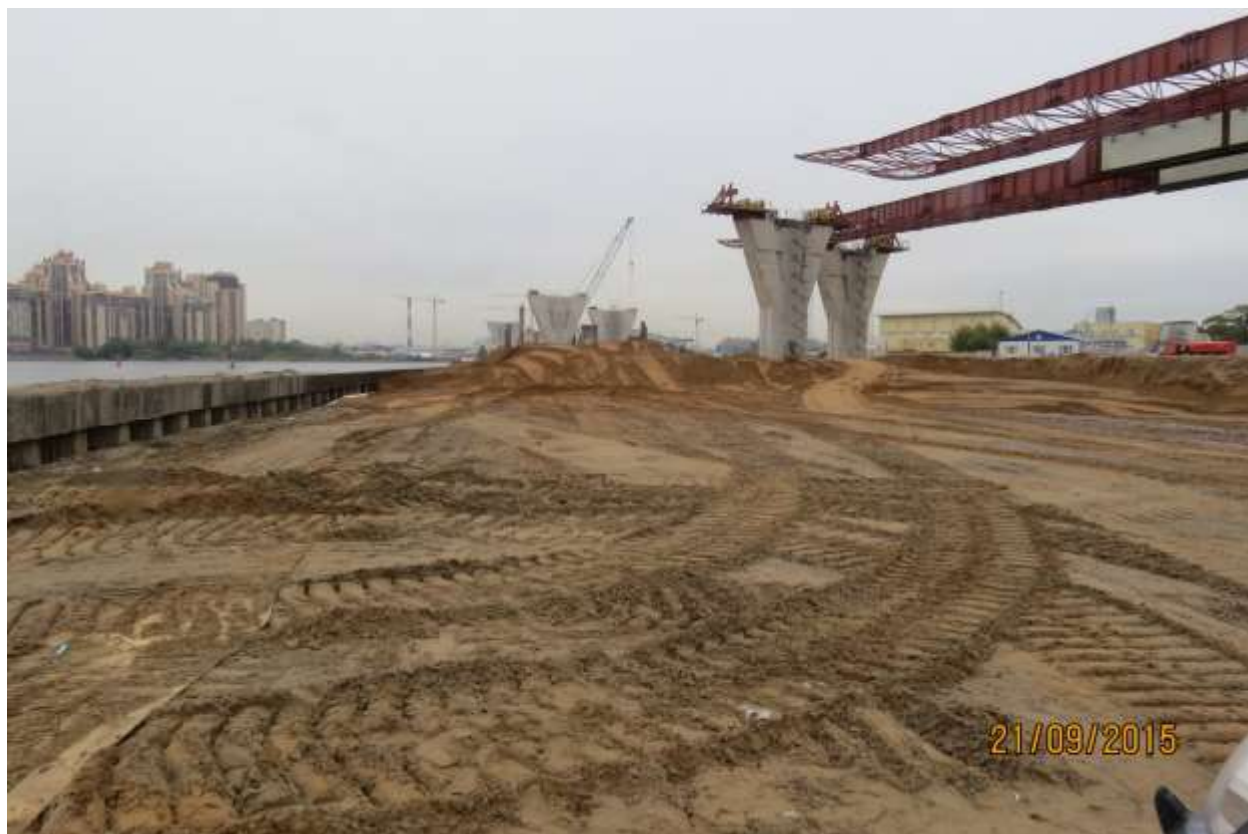


Инженерно-геологические процессы и явления при создании искусственных территорий в Невской губе Финского залива



В статье рассматриваются инженерно-геологические процессы и явления, наблюдающиеся при создании искусственных территорий путем намыва и отсыпки песков. Показывается роль процесса фракционирования в увеличении несущей способности намывных песков. Особое внимание уделяется такому опасному инженерно-геологическому процессу, как образование биогазов, наблюдавшееся в намывных песках, но скорее всего возможное и в насыпных. Подчеркивается, что использование геосинтетических дрен обеспечивает высыхание и уплотнение илов под такими песчаными толщами.

Архангельский Игорь Всеволодович

Генеральный директор ООО «НПФ "НЕДРА"», кандидат геолого-минералогических наук, г. Санкт-Петербург

ivaspbenergy@bk.ru

Введение

Одна из тенденций современного строительства во всем мире – освоение новых территорий, прежде считавшихся непригодными для возведения зданий и сооружений. В первую очередь это участки, отвоеванные у моря путем намыва и отсыпки песков, в том числе на слабых глинистых грунтах (илах), обладающих высокой сжимаемостью и низкой несущей способностью.

Такие новые искусственные территории создаются для городской застройки, гидротехнического строительства, промышленного освоения, решения транспортных проблем. Например, хорошо известны крупные аэропорты на искусственных морских

островах в Японии (рис. 1). Отвоєванные у моря территории успешно используются также в крупных городах Европы, Азии, США.



Рис. 1. Международный аэропорт Кансай, построенный в 1987–1994 годах на насыпном острове длиной 4 км и высотой 15 м над уровнем моря (30 м от дна) в Осацком заливе. Остров соединен 3-километровым двухэтажным мостом с городком Ринку – пригородом города Осака [2, 7]

Много лет подобные работы ведутся и в России. В частности, в Санкт-Петербурге созданы искусственные участки для Морского порта. В западной части Васильевского острова на площади более 500 га возник новый район за счет расширения городской территории в сторону Балтийского моря путем намыва песчаных грунтов на морские илы. Также с созданием искусственных сухопутных участков на «входе» в Невскую губу Финского залива построен комплекс сооружений для защиты города от наводнений (рис. 2).



Рис. 2. Участок Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений, введенного в эксплуатацию в 2011 году [5]

В последние годы в Санкт-Петербурге продолжается создание искусственных территорий.

Например, на южном побережье Невской губы Финского залива Балтийского моря в районе железнодорожной станции «Бронка» намывом песков образован искусственный участок, на которой сооружен многофункциональный морской перегрузочный комплекс (ММПК) «Бронка».

Западнее Крестовского острова в Невской губе создана насыпная территория, на которой разместились такие элементы транспортной инфраструктуры стадиона «Зенит», как станция метро «Новокрестовская», открытые площадки для стоянки автомобилей, автомобильные дороги и проезды. В том же районе на искусственной территории построена автомагистраль «Западный скоростной диаметр» (рис. 3) с выходом на скоростную международную автомагистраль «Скандинавия», идущую из Санкт-Петербурга на Хельсинки и Стокгольм. Эти работы поспособствовали успешному проведению на стадионе «Зенит» части игр 21-го Чемпионата мира по футболу ФИФА в 2018 году.



Рис. 3. Строительство автомагистрали «Западный скоростной диаметр» (ЗСД) на искусственной территории в Невской губе Финского залива Балтийского моря вблизи стадиона «Зенит»

Созданию искусственных территорий вдоль южного побережья Невской губы Финского залива и западного берега Крестовского острова предшествовали инженерно-геологические изыскания для обоснования проектов строительства.

Сами строительные работы также велись при постоянном инженерно-геологическом контроле – со стороны ООО «НПФ "НЕДРА"», изучавшем инженерно-геологические процессы и явления, сопровождавшие создание этих искусственных участков.

Отметим, что, как указывают В.А. Королев и А.Н. Галкин в одной из своих статей [6], многие специалисты отождествляют такие понятия, как «процесс» и «явление», хотя известно, что главная черта любого процесса – это изменение объекта во времени, то есть смена его состояний. Явление же – это форма существования конкретных состояний объекта в данный момент времени. Инженерно-геологический

процесс невозможно закартировать, а инженерно-геологическое явление можно отразить на карте или на модели [6].

Цель данной статьи – ознакомить читателя с инженерно-геологическими процессами и явлениями, возникающими при создании искусственных территорий в восточной части Финского залива (в Невской губе).

Геологическое строение контролируемых районов

Рассмотрим геологическое строение двух районов, в которых создавались искусственные территории, – южного побережья Невской губы Финского залива вблизи железнодорожной станции «Бронка» и западного берега Крестовского острова (по данным ОАО «Ленморниипроект», ФГПУ «Трест ГРИИ», ЗАО «ГТ Морстрой», ООО «ПетроБурСервис» и других организаций Санкт-Петербурга).

В геологическом строении *южного побережья Невской губы Финского залива* принимают участие четвертичные отложения мощностью от 34,1 до 39,5 м, подстилаемые верхнепротерозойскими (котлинскими) глинами. Они залегают в следующей последовательности (сверху вниз):

- техногенные отложения мощностью 1–2 м;
- биогенные отложения голоцена – заторфованные грунты мощностью 0,1–0,5 м;
- морские и озерные отложения голоцена – пылеватые пески средней плотности мощностью до 2 м;
- ледниковые отложения плейстоцена – полутвердые суглинки и пластичные супеси с гравием, галькой, валунами и редкими линзами валунных грунтов с песчаным заполнителем общей мощностью около 30 м;
- верхнепротерозойские (котлинские) отложения – дислоцированные твердые глины вскрытой мощностью 10 м.

В геологическом строении *прибрежной зоны на западе Крестовского острова* принимают участие четвертичные отложения мощностью от 15,6 до 26,5 м, подстилаемые верхнепротерозойскими (котлинскими) глинами. Они залегают в следующей последовательности (сверху вниз):

- техногенные отложения – насыпные пески мощностью 1–2 м;
- морские и озерные отложения голоцена – пылеватые пески средней плотности мощностью 1–2 м, пластичные супеси мощностью до 2 м, текучие суглинистые илы средней мощностью 10 м;
- озерно-ледниковые отложения плейстоцена – ленточные и слоистые текуче-пластичные суглинки мощностью 6,0–8,7 м;
- ледниковые отложения плейстоцена – полутвердые суглинки с гравием, галькой и валунами мощностью 1,5–3,6 м;
- верхнепротерозойские (котлинские) отложения – дислоцированные твердые глины вскрытой мощностью 5,6 м.

Методы инженерно-геологического контроля создания искусственных территорий

Контроль строительных работ по созданию рассматриваемых искусственных территорий намывом и отсыпкой песков производился ООО «НПФ "НЕДРА"» поэтапно. Количество этапов было обусловлено мощностью намывной (насыпной) толщи. Обычно один этап соответствовал намыву (отсыпке) слоя грунта толщиной около 1 м.

На *намываемой территории южного побережья Невской губы Финского залива* контроль осуществлялся в 6 этапов, на *отсыпаемой территории западного побережья Крестовского острова* – в 3 этапа.

На каждом этапе выполнялся следующий комплекс работ:

- топографическая съемка в масштабе 1:500;
- визуальные наблюдения за намывом (отсыпкой) территории;
- наблюдения за осадочными марками;
- проходка шурфов в целях определения плотности песков методом режущего кольца, а также отбора образцов грунта и воды для лабораторных исследований;
- лабораторные определения состава и свойств насыпных (намывных) грунтов и подземных вод.

По окончании строительных работ выполнялось статическое зондирование на всю мощность намытой (отсыпанной) толщи с заглублением в грунты естественного основания не менее чем на 10 м. По его результатам уточнялись литологические границы грунтов, физико-механические характеристики намывных (насыпных) песков и их естественного грунтового основания.

Инженерно-геологические процессы и явления при создании искусственных территорий

1. Формирование техногенных песчаных отложений. При намыве и отсыпке песков происходит взаимодействие намываемых (отсыпаемых) песков и естественного грунтового основания. В результате происходит формирование техногенных песчаных отложений. Проявлением этого инженерно-геологического процесса является осадка намытой территории (насыпи). Для контроля перед началом работ в грунтах естественного основания в разных точках территории строительства были установлены осадочные марки, за которыми велись и ведутся регулярные наблюдения, позволяющие следить за развитием осадок грунтов.

2. Фракционирование намывных песков. Этот процесс заключается в том, что при намыве песка непосредственно у выхода из пульпопровода откладываются наиболее крупные частицы. По мере удаления от трубы размер частиц уменьшается. Если труба переносится на новое место, ранее намытые пески перекрываются отложениями иного гранулометрического состава. В результате формируется их слоистая текстура (рис. 4) [1].



Рис. 4. Слоистая текстура песков, возникшая в результате фракционирования намывных песков и переноса пульпопроводов

Отметим, что текстура песков является важным фактором их упрочнения во времени, то есть образования в них структурных связей, способствующих улучшению их прочностных и деформационных характеристик. Стабилизация упрочнения наступает в течение примерно 4 лет после намыва. К этому времени несущая способность намывного основания возрастает на 20–30% [4].

3. Газообразование в намывных песках. Опыт строительства в районе Санкт-Петербурга показывает, что любая намывная территория является потенциально опасной относительно появления биогазов – смеси газов, образующихся при микробиологическом разложении растительных остатков без доступа воздуха [3]. Газообразование в пределах намывной территории происходит в связи с тем, что прибрежная растительность перед началом намывных работ не всегда удаляется полностью, поэтому в процессе намыва начинается ее разложение. Растительные остатки разлагаются также в толще биогенных и морских отложений, подстилающих намывные пески.

При отсутствии препятствий образующийся газ свободно выходит в атмосферу. Однако на намывной территории среди песков нередко появляются прослой глинистых грунтов, которые являются экранами, препятствующими свободному выходу биогазов. Газы накапливаются под такими экранами и приподнимают их, образуя небольшие конусовидные возвышения, которые иногда прорываются (тогда вместе с газом на поверхность под напором изливается небольшое количество воды). Присутствие газа обнаруживается по резкому специфическому запаху – чаще всего сероводорода [1].

Кроме того, в процессе капитального строительства и после его окончания создаются такие препятствия для выхода биогазов в атмосферу, как асфальтовые и бетонные покрытия, уплотненные насыпные грунты, фундаменты зданий и сооружений. Газы начинают скапливаться под этими препятствиями, давление их возрастает, и в определенный момент они могут прорвать всю вышележащую толщу в ослабленном месте (котловане, траншее, колодце и т.д.), вырвавшись наверх в виде газогрязевого выброса. Как показывает опыт, такой выброс может сопровождаться воспламенением. Если же в составе биогаза содержится метан в количестве более 20%, он становится взрывоопасным [3].

4. Разуплотнение намывных песков. Насыщение песков газом ведет к их разуплотнению и снижению их несущей способности. Проявлением этого процесса служит осадка грунтов под нагрузкой.

5. Прочие процессы и явления в намывных песках: смещения грунтов на откосах; образование трещин; размывы грунтов; возникновение промоин; образование глиняных «окатышей» (шаровидных комков глинистого грунта диаметром примерно по 10 см, «обвалянных» песчано-гравийным материалом, которые могут покрывать поверхность площадью до 1,6 тыс. кв. м).

6. Консолидация (уплотнение) илов. Это основной процесс, который происходит в илах под давлением насыпи. Известно, что консолидация илов может продолжаться несколько десятков лет и более. При этом в случае неравномерной осадки искусственной территории возможны деформации построенных на ней зданий и сооружений [8].

Чтобы такого не произошло, при создании рассматриваемых искусственных территорий было предусмотрено искусственное ускорение консолидации илов, обеспечивающее ее завершение к моменту окончания строительства. С этой целью в природных илах и перекрывающих их намывных (насыпных) песках был устроен вертикальный дренаж с использованием геосинтетических дрен (геодрен), каждая из которых состояла из тонкого плоского пористого синтетического сердечника шириной 10 см и закрывающего его с обеих сторон нетканого термозакрепленного геотекстиля. Под нагрузкой от намывной (насыпной) песчаной толщи поднималось поровое давление в илах, вода из них отжималась в фильтрующие сердечники геодрен и поднималась по ним на поверхность. Благодаря этому происходило высыхание и уплотнение илов, а следовательно – проседание намывной (насыпной) толщи.

Отметим, что необходимое количество геосинтетических дрен определялось по специальным номограммам на основании коэффициента консолидации илов и заданной продолжительности консолидации. Глубина их погружения была обусловлена средней мощностью илов, составлявшей 10 м. На рисунке 5 показано поле геодрен, установленных с шагом 1 м x 1 м.



Рис. 5. Поле геодрен для отжатия воды из илов, подстилающих намывную (насыпную) песчаную толщу

7. *Эоловые процессы.* Для приморских районов Санкт-Петербурга характерны сильные ветры, которые воздействуют на намывные и отсыпанные грунты, вызывая навевание и развевание (перенос) песков. При этом возникают характерные формы микрорельефа – дюны, останцы, западины. Часть намывных (отсыпанных) песков даже выносятся ветром за пределы строительных площадок.

8. *Увеличение давления в пластах, в которых происходит газообразование, при повышении уровня подземных вод в случае подъема уровня воды в Финском заливе.* Это в значительной степени повысит опасность газовой-грязевой выбросов [3].

Прогнозы инженерно-геологических процессов и явлений для искусственных территорий в Невской губе Финского залива

Обобщение информации по инженерно-геологическим процессам и явлениям при создании рассматриваемых намывных и насыпных участков в Санкт-Петербурге представлено в таблице. Эту таблицу можно рассматривать как сводку прогнозов, ко-

торые необходимо учитывать при проектировании и создании таких искусственных территорий.

Таблица

Инженерно-геологические процессы и явления, сопровождающие создание искусственных территорий в Невской губе Финского залива Балтийского моря

Инженерно-геологический процесс	Инженерно-геологическое явление
Взаимодействие намывных (насыпных) песков и подстилающих их естественных грунтов с формированием техногенных песчаных отложений	Осадка намывной территории (насыпи)
Фракционирование намывных песков	Слоистая текстура песков с последующим их упрочнением
Газообразование в намывных (а также скорее всего и в насыпных) песках в результате микробиологического разложения растительных остатков в основании их толщи	Газоводонасыщенные конусовидные формы микрорельефа; газово-грязевые выбросы, которые могут сопровождаться воспламенением и взрывами
Разуплотнение намывных (а также скорее всего и насыпных) песков вследствие газообразования	Осадка песков
Ускоренная консолидация илов при их высыхании и уплотнении в результате отжатия поровой воды в геосинтетические дренажи	Ускоренная осадка илов; проседание песчаной толщи
Эоловые процессы – навевание и развеивание песков, вынос песков за пределы строительной площадки	Микрорельеф с дюнами, останцами, западинами
Увеличение давления в пластах, в которых происходит газообразование, при повышении уровня подземных вод в случае подъема уровня воды в Финском заливе	Газово-грязевые выбросы

Выводы

1. Образование искусственных территорий в Невской губе Финского залива Балтийского моря сопровождается развитием ряда инженерно-геологических процессов с определенными проявлениями, в том числе опасными.

2. Процесс фракционирования в намывных песках способствует формированию их слоистой текстуры, созданию в них структурных связей и улучшению их прочностных и деформационных характеристик.

3. Разрезы намывных территорий характеризуются образованием биогазов, которые могут прорывать всю вышележащую толщу в ослабленных местах с возникновением газово-грязевых выбросов, которые могут иногда воспламеняться или даже взрываться (возникновение опасных биогазов автор наблюдал только в намывных песках, однако и в насыпных их возникновение не исключается). Это требует принятия мер по пожарной и газовой безопасности на рассматриваемых искусственных участках. Кроме того, газообразование ведет к разуплотнению песков со снижением их несущей способности.

4. Устройство геосинтетических дрен в намывных (насыпных) песках и подстилающих их природных илах способствует высыханию и уплотнению последних, а также проседанию песчаной толщи.

5. Сильные ветры выносят часть намывных (отсыпанных) песков за пределы строительных площадок.

Список литературы и других источников

1. *Архангельский И.В.* Инженерно-геологическая характеристика намывных грунтов в районе Санкт-Петербурга // *Инженерная геология*. 2015. № 2. С. 58–65.
2. Аэропорт Кансай // *Womanadvice.ru*. Дата последнего обращения; 16.01.2018. URL: <https://womanadvice.ru/aeroporto-kansay>.
3. Геологический атлас Санкт-Петербурга / под ред. Н.Б. Филиппова, Н.А. Спиридонова. СПб.: Изд-во ГГУП СФ «Минерал», 2009. 57 с.
4. *Давыдов В.Ф.* Структурные и текстурные особенности намывных песчаных грунтов и влияние их на несущую способность оснований: автореф. дис. ... канд. тех. наук. М.: Изд-во Института оснований и подземных сооружений, 1990. 24 с.
5. Защита Санкт-Петербурга // *Masterok.Livejournal*. Дата последнего обращения: 16.01.2018. URL: <https://masterok.livejournal.com/1907531.html>.
6. *Королев В.А., Галкин А.Н.* Геологические и инженерно-геологические процессы и явления: определение и содержание понятий // *Инженерная геология*. 2011. № 1. С. 19–27.
7. Международный аэропорт Кансай // *Ru.wikipedia*. Дата последнего обращения: 16.01.2018. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Международный_аэропорт_Кансай.
8. *Рубинштейн А.Я, Канаев Ф.С.* Инженерно-геологические изыскания для строительства на слабых грунтах. М.: Стройиздат, 1984. 108 с.