DOI: 10.17117/na.2015.09.1100

Поступила (Received): 30.09.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.09.1100.pdf>

Дашко Р.Э., Горская В.А.
О необходимости изучения микробиологической
компоненты в подземном пространстве мегаполисов
для решения инженерно-геологических проблем
(на примере Санкт-Петербурга)

Dashko R.E., Gorskaya V.A.
On the need to study the microbial components in the
underground space of megacities for solve geotechnical
problems (for example, St. Petersburg)

В статье рассмотрены особенности подземной среды Санкт-Петербурга как многокомпонентной системы. Проанализировано негативное влияние деятельности микроорганизмов в подземном пространстве, которое способствует необратимому преобразованию свойств и несущей способности грунтов, а также развитию биокоррозионных процессов в различных конструкционных материалов

Ключевые слова: подземное пространство, многокомпонентная среда, микробиота, подземные конструкции, биохимическая газогенерация, биокоррозия

The article the features of the underground environment of St. Petersburg as a multicomponent system are describes. The negative impact of microbial activity in the underground space, which contributes to the irreversible transformation of the properties and the bearing capacity of the soil, as well as the development of biocorrosion processes in a variety of construction materials are analyzed

Key words: underground space, multicomponent space, microbiota, underground structures, biochemical gas generation, biocorrosion

Дашко Регина Эдуардовна

Доктор геолого-минералогических наук, профессор
 Национальный минерально-сырьевой университет
 «Горный»
 г. Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., 2

Dashko Regina Eduardovna

Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences, Professor
 National mineral resources university «Mining»
 St. Petersburg, 21th Line V.O., 2

Горская Валентина Алексеевна

Аспирант
 Национальный минерально-сырьевой университет
 «Горный»
 г. Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., 2

Gorskaya Valentina Alekseevna

Graduate
 National mineral resources university «Mining»
 St. Petersburg, 21th Line V.O., 2

Подземное пространство города необходимо анализировать как многокомпонентную и динамичную систему, которая включает песчано-глинистые грунты, содержащие подземные воды, микробиоту, биохимические и глубинные газы, подземные конструкции.

Концепция безопасного освоения и рационального использования подземного пространства мегаполисов основана на тесной взаимосвязи каждого из этих компонентов, обеспечивающих устойчивость всей системы. Особенно актуально изучение многофакторности формирования инженерно-геологических условий для мегаполисов, местоположение которых определяется сложностью гидрогеологических условий подземной среды, спецификой физико-химической и биохимической обстановки и требует детерминированного использования лимитированных городских территорий.

На сегодняшний день процесс освоения подземного пространства идет практически во всех столицах мира, и Санкт-Петербург не является исключением. Соответственно, обеспечение длительной устойчивости наземных и подземных сооружений, а также реконструкция и реставрация старинных зданий и архитектурно-исторических памятников должна базироваться на комплексном подходе к оценке инженерно-геологических условий, при обязательном учете микробиологического фактора как одного из приоритетных, особенно в городах, расположенных в дельтовых зонах.

К числу природных источников микробиоты в подземном пространстве Санкт-Петербурга следует отнести болота и заторфованные грунты. Согласно многолетним исследованиям, проводимыми под руководством проф. Дашко Р.Э., негативное влияние болот прослеживается на глубину 50-70 метров за счет инфильтрации болотных вод, содержащих микробиоту. В зонах воздействия болот отмечается снижение окислительно-восстановительного потенциала (E_h ниже 100 мВ) при обогащении отложений органическими соединениями биотического и абиотического генезиса. Дополнительным источником природной микробиоты служат микулинские слои с битуминизной органикой, которые генерируют метан, азот и диоксид углерода, а при их загрязнении – сероводород. Эти слои распространены в юго-восточной, восточной и северной частях Санкт-Петербурга, ниже которых проложены линии метрополитена.

К техногенным источникам привнесения микробиоты регионального характера относятся канализационные стоки, в 1 мл которых содержится 10^7 – 10^8 бактериальных клеток, присутствуют также грибные культуры и микроскопические водоросли. Отсутствие системы водоотведения на протяжении двух столетий, а затем ее неудовлетворительное состояние, о чем свидетельствуют значительные утечки и прорывы (более 40 точек прорыва канализационных труб с частотой 9 раз в 10 лет), способствуют поступлению органики абиогенного и биогенного генезиса, восстановленных форм серы и азота, в первую очередь, сероводорода и аммония [1].

Кроме того, поступление контаминантов в подземную среду фиксируется в местах хозяйственно-бытовых отходов. Согласно экологическим исследованиям, в историческом центре Санкт-Петербурга (Адмиралтейский и Центральный районы) на каждом квадратном километре площади захоронено от 2 до 3 тыс. т. таких отходов. В городе зарегистрировано более 200 несанкционированных свалок объемом свыше 5 млн. м³.

В качестве локальных источников необходимо выделить действующие и ликвидированные кладбища, а также засыпанные реки, каналы и водоемы. Со-

гласно архивным данным, на территории мегаполиса зафиксировано 62 ликвидированных кладбища, из них два грунтовых могильника XIII-XVI вв. в районе Шереметьевского дворца и в устье р. Охты, которые приносят в толщу грунтов белки, жиры, углеводы, соединения азота, фосфора, сапрофитные и гетеротрофные микроорганизмы. Следует отметить, что районы засыпанной гидрографической сети составляют примерно 3,7% территории города (5315 га), главным образом в центральных районах: на Василеостровском районе – 33% территории (555 га), в Центральном районе – 27% (475 га), в Адмиралтейском районе – 23% (310 га) и в Петроградском районе – 20% (402 га).

Помимо природных и техногенных источников поступления микробиоты в подземное пространство мегаполисов, необходимо учитывать факторы активизации микробной деятельности, в числе которых отепляющее действие инженерных конструкций, эксгаляция радона по тектоническим трещинам.

Характерным проявлением микробной деятельности в подземном пространстве мегаполисов является рост числа клеток микроорганизмов и продуктов их метаболизма в форме накопления белковых и небелковых соединений на дисперсных частицах грунта с образованием биологических пленок. Формирование биопленок способствует разуплотнению песчано-глинистых пород, снижению их прочности и коэффициента фильтрации до 10^{-2} – 10^{-4} м/сутки, что переводит пески в состояние плавунцов, а глинистые грунты в квазипластичные разности (рис.1) [1].

Рис. 1. Влияние активизации микробиологической деятельности и роста биомассы (БМ) на изменение прочности глинистых грунтов (τ) во времени – t (а); снижение коэффициента фильтрации (K_{ϕ}) песков (б)

Интенсификация жизнедеятельности микроорганизмов в подземной водонасыщенной среде при наличии питательных и энергетических субстратов приводит к генерации органических кислот и биохимических газов: малорастворимых (CH_4 ; N_2 ; H_2) и растворимых (NH_3 ; H_2S ; CO_2) (рис. 2).

При этом, хорошо растворимые газы, такие как сероводород и диоксид углерода оказывают разрушительное воздействие по отношению к строительным материалам (известняки, бетоны и др.) подземных конструкций зданий и сооружений, значительно повышая агрессивность подземных вод. Подкисление вод при образовании H_2S способствует коррозии сталей.

Рис. 2. Схема расположения участков биохимического газопроявления в Санкт-Петербурге

Накопление малорастворимых газов в водонасыщенной толще грунтов приводит к появлению и развитию газодинамического давления и соответственно изменению напряженно-деформируемого состояния грунтов. Защемленные в порах мельчайшие пузырьки газа с высокой величиной поверхностного натяжения и большим внутренним давлением значительно разуплотняют песчано-глинистую толщу. В таких условиях существенно возрастает тиксотропность песчано-глинистых грунтов, что проявляется даже при незначительных динамических и вибрационных воздействиях.

Кроме того, увеличение газодинамического давления создает условия для развития неравномерных перемещений перегонных тоннелей метрополитена, а также неравномерных осадок зданий.

Варьирование величины газодинамического давления по длине перегонных тоннелей можно проследить на примере трассы Петербургского метрополитена «Обухово-Рыбацкое», расположенной в юго-восточной части города (рис. 3).

Рис. 3 Схематический геолого-литологический разрез по трассе перегонных тоннелей «Обухово – Рыбацкое» с графиком перемещений тоннельных реперов

Деформации подъема тоннельных конструкций выше первоначальной отметки зафиксированы на локальных участках трассы, где в толще отложенный созданы наиболее благоприятные условия для накопления малорастворимых газов, поступающих из микулинских газогенерирующих слоев.

Проведенные комплексные исследования, направленные на оценку длительной устойчивости функционирующей трассы метрополитена, показали, что модуль общей деформации этих грунтов в процессе их газонасыщения может снижаться до 5 МПа и ниже, что приводит к активизации осадок и их длительного развития во времени [1].

Кроме того, микробная пораженность грунтов и грунтовых вод способствует развитию биокоррозионных процессов практически во всех типах конструкционных материалов. Скорость протекания коррозии с участием микроорганизмов в сотни, тысячи раз и более превышает скорость химической и физико-химической коррозии. Разрушение строительных материалов реализуется преимущественно путем создания агрессивных сред за счет накопления продуктов метаболизма микроорганизмов и их способности непосредственно извлечения различных элементов из этих материалов. В результате функционирования аэробных нитрифицирующих (HNO_2 – Nitrosomonas, HNO_3 – Nitrobacter) и тионовых (H_2SO_4 – Thiobacillus) бактерий происходит образование минеральных кислот, которые вызывают разрушение бетонов, строительных материалов на основе цемента и извести, а также карбонатных соединений за счет образования растворимых солей азотной и серной кислоты и их последующего выноса. Гетеротрофные бактерии продуцируют органические кислоты.

В качестве примера биокоррозионных процессов следует привести анализ состояния кладки стен и фундаментов одного из памятников архитектуры и культуры середины 19 в – здание Нового Эрмитажа. В ходе специальных исследований было установлено, что основной причиной интенсивной трансформации пористых строительных материалов (кирпича) является биокоррозия. В водных вытяжках из разрушенной фундаментной кладки кирпича содержание сульфатов достигало $6414,8 \text{ мг/дм}^3$, и нитратов до $8,0 \text{ мг/дм}^3$ за счет деятельности тионовых и нитрифицирующих бактерий соответственно (рис.4).

Рис. 4 Характер разрушения кладки фундаментов по скважинам, пройденным в зонах воздействия болотных отложений и канализационных стоков

Подтверждением вышесказанному служат высокие уровни значения микробной массы (до 43 мкг/г) для кирпича как гидрофобного материала [1].

Многочисленные микробиологические исследования показали, что процессы биокоррозии наблюдаются и в разрушенных железобетонных и чугунных обделках подземных транспортных тоннелей Санкт-Петербурга, где зафиксировано свыше 120 видов микромицетов, 80% из которых относятся к активным биодеструкторам [1].

При обследовании перегонных тоннелей «Елизаровская – Ломоносовская» на одном из участков трассы, где выше по разрезу прослеживаются микулинские битуминозные песчано-глинистые отложения было зафиксировано биокоррозионное разрушение битумов, которое отмечалось по высокому содержанию гетеротрофных форм микроорганизмов, использующих органические соединения в качестве источника питания (табл.1)

Таблица 1. Результаты бактериологического анализа проб разрушенного битума [1]

Гетеротрофы, КОЕ/г	Нитрифицирующие, бактерии, кл/г	Железобактерии, КОЕ/г	Тионовые бактерии, кл/г	Сульфатредуцирующие бактерии, кл/г
3,5x10 ⁶	Менее 6,0x10 ¹	Менее 5,0x10 ¹	7,5x10 ²	Менее 6,0x10 ¹

В пробах были определены микобактерии, нокардии (*Nocardia*) и тионовые бактерии, действующие, по всей видимости, совместно с гетеротрофами. В размягченном битуме были также выделены микромицеты в количестве 1100 КОЕ/г: *Acremonium curvulum*, *Penicillium lanosum*, *P. Reticulosum*, *Scopulariopsis acremonium*, относящиеся к активным деструкторам конструкционных и гидроизоляционных материалов [1].

Важно отметить, что вопросы биodeградации строительных материалов и воздействия биохимической генерации газов на напряженно-деформируемое состояние грунтовой толщи не учитываются в современных нормативных документах. Соответственно, решение инженерно-геологических проблем при оценке безопасного освоения и использования подземного пространства мегаполисов требует создания нормативных документов, направленных в первую очередь, на изучение негативной деятельности подземных микроорганизмов.

Список используемых источников:

1. Дашко Р.Э., Власов Д.Ю., Шидловская А.В. Геотехника и подземная микробиота. СПб.: ПИ Георекострукция, 2014.

© 2015, Дашко Р.Э., Горская В.А.

О необходимости изучения микробиологической компоненты в подземном пространстве мегаполисов для решения инженерно-геологических проблем (на примере Санкт-Петербурга)

© 2015, Dashko R.E., Gorskaya V.A.

On the need to study the microbial components in the underground space of megacities for solve geotechnical problems (for example, St. Petersburg)