



Negative impact of microorganisms on multicomponent underground space of St-Petersburg: engineering, geological and geotechnical aspects

Dashko, R.E.^{1*}; Vlasov, D. Yu.²; Voronov, A.S.³

¹ Saint-Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russian Federation

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russian Federation

³ "Georeconstruction" Institute, St. Petersburg, Russian Federation

* regda2002@mail.ru

Keywords:

Crumbling building, geological-engineering features of moraine soils, hydrogeological conditions, physical and mechanical properties, microbiota, swab test method, metagenomic analysis, biocorrosion, contamination

Abstract:

This article considers the problem of improving safety for reconstruction and restoration of historical buildings of 1898-1902s located in Telejnaya St., Saint-Petersburg. The multiple investigation of bearing constructions mentioned above buildings as well as their foundations was made. The geotechnical analysis of foundation soils of the buildings was carried out. The underground water contamination level was assessed, contaminant sources were found. Taking in consideration palustrine deposits widespread occurrence and the term of sewer leakage, microbiological examination of foundation soils of the buildings, groundwater and constructional materials (bricks, mortar, wood, out of service waterproofing layer and other) were made. Abundance and species of micromycetes, aerobic and anaerobic bacteria were established. Change in microorganisms number with depth of foundation soils of the buildings depending from redox conditions was found. Reducing conditions with ORP (Oxidation-Reduction Potential) <0 mV (in some cases ORP=20-30 mV) were detected. ORP value was measured in the field. In these physical and chemical conditions anaerobic microorganisms (sulfate-reducing, methane, denitrifying bacteria) generating gases of different degree of solubility are pervaded. High level of microbiological prevalence of foundation soils of the buildings, groundwater and constructional materials leads to the necessity of usage of bioresistant constructional materials. It is necessary to take into account the presence of drift sand and slow-soluble gases which causes the change in foundation soils of any building stress-deformed state.

1 Introduction

Анализ аварийных ситуаций, которые фиксировались на протяжении многих десятилетий при реализации проектов освоения и использования подземного пространства (ПП) городов, позволяют утверждать, что технологии строительства и обеспечение длительной устойчивости сооружений должны базироваться на оценке подземной среды города как многокомпонентной системы: породы и грунты должна рассматриваться как вмещающая среда для подземных вод, газов различного генезиса, микробиоты и подземных конструкций при их тесном взаимодействии и взаимовлиянии. Следует учитывать, что подземные воды имеют нестабильный гидродинамический режим, обычно связанный с городским водопотреблением, барражным эффектом при строительстве и эксплуатации свайных фундаментов, утечками из систем водоотведения и пр. Их химический состав определяется наличием источников контаминации.

Исследования деятельности микроорганизмов в инженерно-геологических и геотехнических аспектах практически не проводятся. Известны отдельные работы, посвященные анализу микробного биоразнообразия на больших глубинах, в особенности в осадках на дне океана [1,2]. Высказывалось мнение, что подземная биосфера формируется микроорганизмами и простирается на несколько километров ниже поверхности земли и дна океана [3]. Отмечалось,

Dashko, R.E.; Vlasov, D.Yu.; Voronov, A.S.

Negative impact of microorganisms on multicomponent underground space of St-Petersburg: engineering, geological and geotechnical aspects;

2020; Construction of Unique Buildings and Structures; Volume 90 Article No 9001. doi: 10.18720/CUBS.90.1

что микробиологическая активность на больших глубинах может влиять на геологические процессы [1,4,5]. Вместе с тем, до последнего времени оставались практически не исследованными процессы микробной трансформации состояния и физико-механических свойств грунтов, а также развития таких процессов как пльвуны, биохимическая газогенерация и биокоррозия, которая прослеживается на большую глубину. Эти аспекты исследования подземной микробиоты имеет важное значение при проведении инженерно-геологических изысканий. Отдельные разработки по необходимости учета микроорганизмов при проведении инженерно-геологических изысканий проводятся в Пермском государственном исследовательском университете под руководством кандидата геолого-минералогических наук Н.Г. Максимовичем [6,7,8]. Исследования по влиянию деятельности микроорганизмов в подземном пространстве городов и горнопромышленных регионов на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии Санкт-Петербургского горного университета под руководством профессора Р.Э. Дашко были начаты еще в 1988г. В настоящее время накоплены достаточно большой материал в теории и практики микробиологических исследований подземного пространства. [9,10,11,12,13,14,15] Вместе с тем, деятельность микроорганизмов в подземной среде определяет негативные изменения состава, состояния и физико-механических свойств грунтов, развитие опасных инженерно-геологических процессов, таких как пльвуны, биохимическая газогенерация, тиксотропия, биокоррозия строительных материалов.

В качестве примера можно привести результаты исследований, проведенных в историческом центре Санкт-Петербурга по адресу ул. Тележная, дд. 21-29 - нечетная сторона (Рис. 1). Эти доходные дома были построены в конце 19 – начале 20 века (д. 21 – арх. Д.Г. Фомичев, д. 23 - арх. В.В. Шауб, д.д. 25-27 - арх. Н.М. Шурупов и д. 29 арх. П.И. Гилев). [16]



Рис. 1 - Фасад аварийного дома 23 по Тележной улице

Инженерно-геологический разрез исследуемой территории приведен на рисунке 2 и типичен для низкой литориновой террасы с отметками поверхности от 0 до 9,0 м. (сверху – вниз):

- насыпные образования (tIV), мощностью до 3,5 м, представленные строительным «мусором» - битый кирпич, обломки бута и др., песчано-глинистый грунт;
- ниже залегает торф (bIV) различной степени разложения, который не был полностью удален при инженерной подготовке рассматриваемой территории (обычно при строительстве жилых домов в дореволюционное время удалялось лишь 2м, при строительстве уникальных зданий – соборов, дворцов, торговых центров, органогенные грунты удалялись на всю мощность (Казанский собор, Гостиный двор и др.);

Dashko, R.E.; Vlasov, D.Yu.; Voronov, A.S.

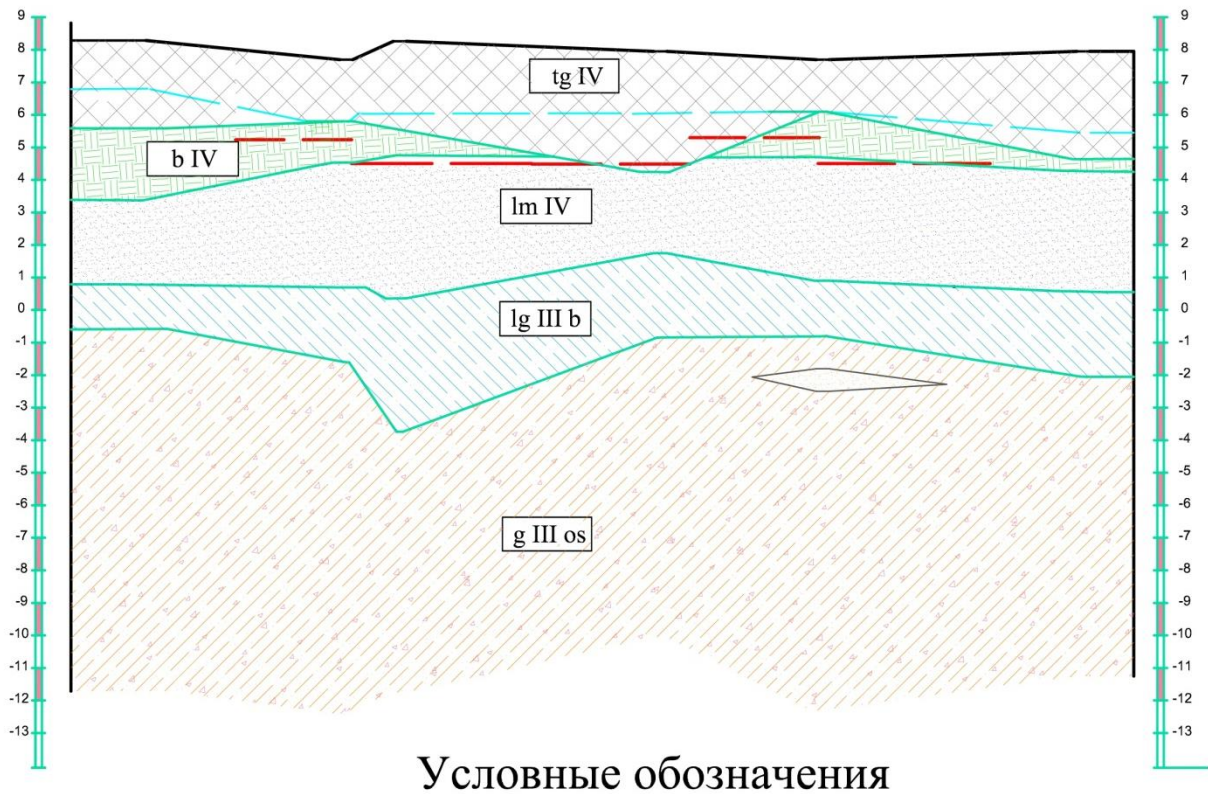
Negative impact of microorganisms on multicomponent underground space of St-Petersburg: engineering, geological and geotechnical aspects;

2020; Construction of Unique Buildings and Structures; Volume 90 Article No 9001. doi: 10.18720/CUBS.90.1

- под торфами прослеживаются озерно-морские отложения (ImIV), которые характеризуются как пески тонкозернистые пылеватые, либо как пески мелко-тонкозернистые, в которых содержания песчаных фракций от 0,25 до 0,05 мм составляет 55,6%, при этом количество тонкозернистой фракции (0,10-0,05 мм) варьирует в узких пределах – 44,6-47,9%, почти постоянное содержание пыли – 42-43%, количество тонкодисперсных частиц $d < 0,002$ мм ниже 2,2%; при плотности грунта 2,01-2,06 г/см³ и влажности 23-26% (в условиях нарушенного сложения) характеризуются сцеплением 0,32-0,37 кгс/см² и углами внутреннего трения 12-15°; консолидация песков в лабораторных условиях приводит к повышению ϕ до 30-31° и снижения сцепления до 0,15-0,19 кгс/см²; исследование плавунных свойств песков с помощью метода седиментационного объема позволило их классифицировать как отложения с высокой подвижностью в условиях отсутствия коагуляции суспензии; суспензия, подготовленная из этих песков, при наличии Ca^{2+} и Mg^{2+} (вынос при растворении и выщелачивании из известняков бутовой кладки и известковых растворов) и в присутствии железа Fe^{3+} приводит к мгновенно протекающей коагуляции;

- в данном районе озерно-ледниковые отложения размыты и зафиксированные грунты условно отнесены к данному генетическому типу; они обладают неявно выраженной слоистостью с включениями гравия и гальки – переходный слой к нижележащей морене; по гранулометрическому составу (согласно трёхчленной классификации В.В. Охотина) данные отложения относятся к средним пылеватым суглинкам (содержание частиц $< 0,002$ мм варьируется от 15,5 до 17,1% и пыль – 55,2-64,5%; плотность изменяется в пределах от 1,95 г/см³ до 2,10 г/см³; в отдельных случаях наблюдается повышение содержания глинистой фракции до 32,6%; обладает следующими физико-механическими параметрами $\phi=26-35^\circ$, $c=0,05-0,14$ кгс/см² $E_0=30-32$ кгс/см²;

- ниже по разрезу скрыта осташковская морена (glllos), которая формировалась в восстановительных условиях; бескислородная среда предопределяет наличие в ней только молекулярных связей и при отсутствии соединений трехвалентного железа; она классифицируется как средний и легкий пылеватый суглинок: содержание фракции $d < 0,002$ мм от 11,5% до 16,9%, пыли – от 60,8% до 71,5%; плотность варьируется в пределах от 2,08 до 2,20 г/см³, влажность – 18,1-19,9%, имеет достаточно устойчивую консистенцию – полутвёрдую ($I_L=0,14-0,25$); характеризуются следующими параметрами сопротивления сдвигу: $\phi=32-33^\circ$, $c=0,02-0,19$ кгс/см²; следует отметить, что при одноосном сжатии данные характеристики составили $\phi < 6^\circ$ и $c=0,22-0,59$ кгс/см²; модуль общей деформации по компрессионным испытаниям составил $E_0=61,71$ кгс/см², причем по данным одноосного сжатия этот параметр составил $E_0=15-22$ кгс/см²; следует отметить, что некоторые из исследуемых образцов морен были настолько слабы, что деформировались под собственным весом, принимая грушевидную форму (рис. 3).











	насыпные грунты		Подошва фундаментов
	пески пылеватые		Уровень грунтовых вод
	торф		Стратиграфические границы
	суглинки пылеватые		Литологические границы
	суглинки пылеватые с гравием		
	стратиграфический индекс		

Рис. 2 - Схематический инженерно-геологический разрез вдоль дд 21-29 по Тележной



Рис. 3 - «Бочкование» образца моренных отложений.

В разрезе исследуемой территории отмечен водоносный горизонт грунтовых вод, который имеет достаточно большой разброс минерализации, что объясняется разбавлением подземных вод за счет зафиксированных при обследовании домов утечек из водопроводных систем и теплосетей (со снятым напором). В зонах отсутствия такого разбавления отчетливо проявляется загрязнение грунтовых вод утечками из канализационных систем – содержание NH_4^+ повышается до 44 мг/дм^3 . Достаточно высокое содержание щелочноземельных элементов Ca^{2+} и Mg^{2+} связано с выщелачиванием известняков (постелистый бут фундаментов), а также растворов извести. Повышение содержания Ca^{2+} и Mg^{2+} определяет рост pH до 8,2, минимальное значение – pH=6,2 отмечено при снижении Ca^{2+} и Mg^{2+} . Существенное варьирование окислительно-восстановительного потенциала, замеренного *in situ* связано с содержанием органических соединений.

Таблица 1 - Показатели химического состава грунтовых вод из шурфов и скважин

Определяемые показатели	Min	Max
Натрий (Na^+), мг/дм ³	9,7	414
Калий (K^+), мг/дм ³	1,6	61
Кальция (Ca^{2+}), мг/дм ³	33	141
Магний (Mg^{2+}), мг/дм ³	10	94
Аммоний-ион (NH_4^+), мг/дм ³	0,13	44
Железо двухвалентное (Fe^{2+}), мг/дм ³	<0,05	0,56
Железо трехвалентное (Fe^{3+}), мг/дм ³	2,2	61
Алюминий (Al^{3+}), мг/дм ³	0,87	8,8
Гидрокарбонат-ион (HCO_3^-), мг/дм ³	172	1116
Хлориды (Cl^-), мг/дм ³	16	440
Сульфаты (SO_4^{2-}), мг/дм ³	10	137
Нитрит-ион (NO_2^-), мг/дм ³	<0,02	0,74
Нитрат-ион (NO_3^-), мг/дм ³	0,44	1,8
Кремниевая кислота (по Si), мг/дм ³	0,1	11
Углекислота свободная, мг/дм ³	3,5	70
Водородный показатель (pH)	6,2	8,2
Водородный показатель <i>in situ</i> , pH	6,5	8,2
Окислительно-восстановительный потенциал <i>in situ</i> , Eh (мВ)	-56,3	46,3
Минерализация, мг/дм ³	337	1993

Кроме того, были определены показатели органики, подтверждающие интенсивную контаминацию грунтовых вод (табл.2). Общее содержания органического вещества в грунтовых водах характеризуется аномально высокой величиной химического потребления кислорода – ХПК=9408 мгО₂/дм³, что является следствием суммарного содержания природной и техногенной органики в воде. Для сравнения в болотных водах данный показатель в редких случаях может достигать 300 мгО₂/дм³, соответственно, можно сделать вывод об исключительном влиянии техногенной органики и, прежде всего, канализационно-бытовых стоков, причем канализационные стоки содержат 52-58% органических соединений, 42-48% - минеральных компонентов, в состав которых входят такие биогенные элементы как К, N, P, а также различные соединения серы, кроме того 1 мл канализационных стоков содержит 107-108 клеток микроорганизмов.

Таблица 2 - Показатели содержания органической компоненты грунтовых вод

Определяемые показатели	23 д.			25-27 д.		29 д.	
	Вне контура					Вне контура	
	Ш3	Ш2	Ш1	Ш1	Ш2	С2	Ш1
ХПК (мгО ₂ /дм ³)	1448	768	1060	2880	996	>2000 (9408)	>2000 (3840)
Перманганатная окисляемость(мгО ₂ /дм ³)	>100 (880)	>100 (139)	>100 (657)	>100 (990)	>100 (278)	>100 (592)	>100 (680)
БПК ₅ (мгО ₂ /дм ³)	590	62	330	575	220	485	530
Нефтепродукты (мг/дм ³)	0,025	0,041	0,012	0,056	0,077	0,2	0,11

Примечание: ХПК – химическое потребление кислорода (расход кислорода на окисление органических соединений, как трудно-, так и легкоокисляемых), БПК₅ – биохимическое потребление кислорода (количество кислорода, израсходованное на аэробное биохимическое окисление под действием микроорганизмов за 5 суток)

Следует отметить, что на контаминацию грунтовых вод канализационно-бытовыми стоками указывает содержание аэробной микрофлоры, которая подтверждается высокими значениями БПК₅ (см. табл. 2).

2 Methods

Наличие микроорганизмов изучалось по специально отобраным пробам грунтов, грунтовых вод, разрушенных строительных материалов подземных конструкций (известняки, известковистый раствор, деревянные лежни) на базе Санкт-Петербургского государственного университета в соответствии с требованиями РВСН 20-01-2006 (ТСН 20-303-2006).

Для первичной изоляции, поддержания в культуре и идентификации микромицетов использовались рекомендуемые питательные среды: агар Чапека-Докса, картофельно-глюкозный агар (КГА), агар Сабуро и сусло-агар.

Способы выделения грибов в культуру из предоставленных образцов:

- рассев мелких фрагментов (конгломератов) грунта на поверхность питательной среды;
- получение суспензии и посев на питательную среду в различных разведениях - модификация метода почвенных разведений. [17]

Получаемые культуры инкубировали в термостате в течение 2-4 недель при температуре 25С до получения спороношения, после чего проводилась идентификация микромицетов с использованием световой микроскопии. Для получения препаратов микромицетов применяли стандартную методику микроскопирования микроорганизмов в лактофеноле (вязкая консервирующая жидкость) с использованием предметных и покровных стекол. В ходе идентификации было изготовлено более 50 препаратов. Идентификация микромицетов проводилась с использованием отечественных и зарубежных определителей. [17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34] Количественное определение пропагул (спор) грибов (колониеобразующих единиц – КОЕ) на 1 грамм субстрата осуществлялось методом разведений. [17]

Полученные данные были обработаны и проанализированы в отношении видового разнообразия, численности, встречаемости и агрессивности грибов.

При проведении бактериологических исследований выделение микроорганизмов осуществляли на 4 агаризованные (твердые) питательные среды: ГМФ (гидролизат мяса ферментативный) для учета общего микробного числа аэробных органотрофных бактерий, модифицированную среду Чапека для выделения актиномицетов, среду для тионовых бактерий,

а также среду для сульфатредуцирующих бактерий (анаэробные условия). Количественный учет бактерий проводился с использованием метода разведений.

Засеянные чаши помещали в термостат. Условия инкубации: температура +30 град, темнота. Подсчет и изучение колоний производили прямым наблюдением и с использованием бинокулярной лупы на 3 и 7 сутки (при увеличении от 20 до 100х). Пересчет колоний производился на 1 грамм грунта или субстрата, а также на 1 мл воды. При просмотре чашек учитывали морфологические признаки колоний: размеры, цвет, прозрачность, консистенция, характер края, зональность, высота и др. Доминирующие типы колоний отсеивали на скошенный агар (МПА) в пробирки для хранения и последующего экспериментального исследования.

Для выделения анаэробных бактерий использовали анаэростат ANAEROJAR AG0025A на 2,5 литра. Наблюдения за проявлением колоний в анаэробных условиях производили на 14 сутки с момента посева.

Окраску по Граму, приготовление препаратов (мазков), окрашивание бактериальных клеток и микроскопирование бактерий осуществляли в соответствии с принятыми методиками.

На заключительном этапе работы производилось сопоставление микологических и бактериологических данных для получения общей картины микробного заражения грунта, строительных материалов и грунтовых вод.

Как и ожидалось, микробная пораженность грунтовой толщи была оценена как высокая, прежде всего гетеротрофными формами микроорганизмов, которые используют органические соединения в качестве питательного и энергетического субстрата.

3 Results and Discussion

Высокое содержание органического вещества и отрицательные значения Eh определяет численность анаэробных форм микроорганизмов, в то время, как содержание аэробных тионовых бактерий с глубиной снижаются до 10^3 клеток. (табл. 3).

Таблица 3 - Микробиологическая пораженность грунтовой толщи

Схематический разрез основания зданий				Численность микроорганизмов в одном грамме грунта			Видовой состав микровицетов
Генетический тип	Краткая инженерно-геологическая характеристика	Абсолютные отметки кровли слоя, м	Мощность слоя	Гетеротрофные на среде ГМФ	Аэробные - тионовые	Анаэробные - относительная численность	
IbIV	Торф, хорошо разложившийся, водонасыщенный (линзы)	4,5-6,0	0-2,5	10^6	10^4	++	<i>Неспороносящий светлоокрашенный гриб; Penicillium chrysogenum; Cladosporium cladosporioides; Scytalidium lignicola; Penicillium herqueri</i>
ImIV	Пески пылеватые, водонасыщенные	3,5-4,6	1,5-3,5	10^7	10^4	++++	<i>Penicillium brevicompactum; Aspergillus sydowii; Paecilomyces lilacinus; Неспороносящий светлоокрашенный гриб</i>
IgIII	Суглинок средний пылеватый, слоистый	0,5-2,0	1,5-5,5	10^6	10^3	++++	<i>Cladosporium cladosporioides; Ulocladium chartarum; Penicillium waksmanii; Неспороносящий светлоокрашенный гриб</i>

Dashko, R.E.; Vlasov, D.Yu.; Voronov, A.S.

Negative impact of microorganisms on multicomponent underground space of St-Petersburg: engineering, geological and geotechnical aspects;

2020; Construction of Unique Buildings and Structures; Volume 90 Article No 9001. doi: 10.18720/CUBS.90.1

gillos	Суглинок средний пылеватый	(-0,5) - (-3,5)	3,5-6,5	10 ⁶	10 ³	++++	<i>Penicillium herquerei</i> ; <i>Cladosporium cladosporioides</i>
--------	----------------------------	-----------------	---------	-----------------	-----------------	------	---

Примечания:



низкая пораженность

высокая пораженность

Существует определенная закономерность снижения численности некоторых видов микромицетов с глубиной, причем наиболее быстрое угнетение происходит на глубинах до 4 м, (рис. 4). Это объясняется резким уменьшением содержания растворенного кислорода в подземных водах. Основываясь на этих данных, можно выделить зоны аэробности: условно аэробная (менее 2-2,5 м), переходная (от 2-2,5 м до 4 м), анаэробная (более 4 м).

Низкие параметры прочности и показатели деформационных свойств связаны с высокой микробной пораженностью грунтов: образование биопленок на минеральных частицах способствует трансформации грунтов в слабые разности, характеризующиеся пластическим характером деформирования и разрушения.[35] Практически все типы песков обладали ярковыраженными плавунными свойствами.

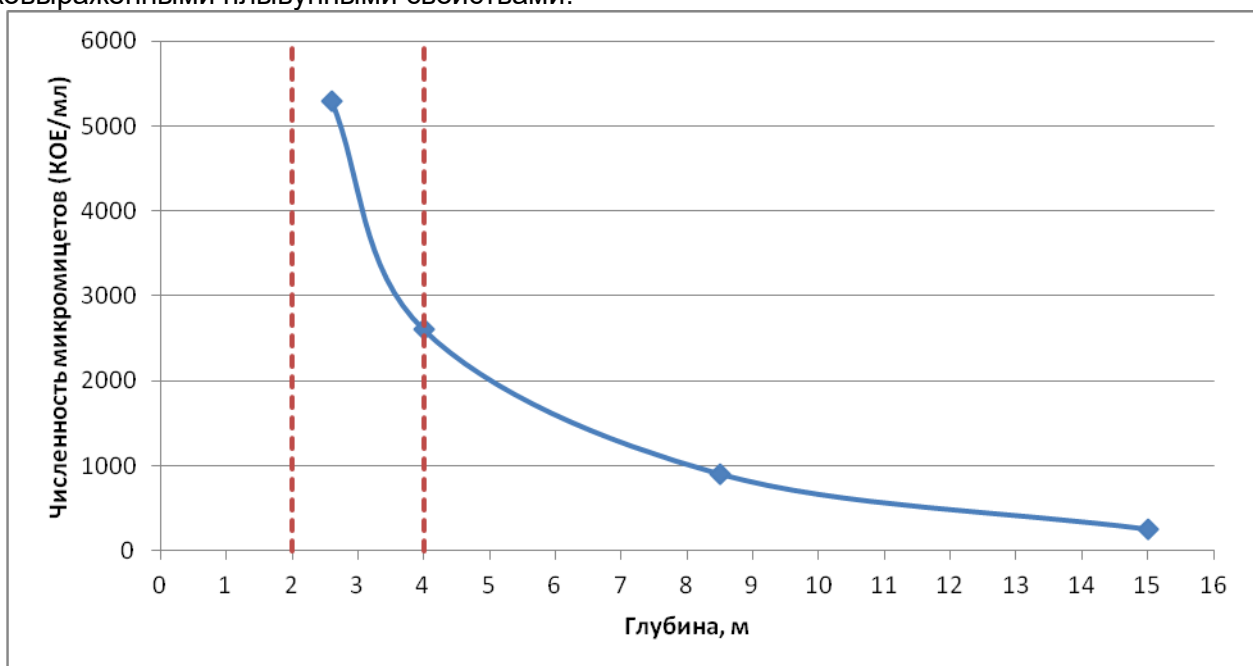


Рис. 4 - Зависимость численности микроскопических грибов в подземной среде от глубины отбора образцов.

Следует отметить, что микроорганизмы принимают участие в биокоррозии конструкционных материалов подземной части сооружения. Фундаменты исследуемых исторических сооружений преимущественно ленточные из бутового камня известняка (для дома 27 – из гранитных валунов) на известковом растворе. Под лентами устроены деревянные лежни, состояние которых, по результатам обследования, оценивается как неудовлетворительное (дерево разбиралось на волокна, при небольших усилиях из него отжималась вода). Существует убеждение, что гниение древесины в подземном пространстве возможно в зоне аэрации либо переменной влажности. Древесина преимущественно состоит из полисахаридов (до 70%), а точнее из целлюлозы (клетчатки), которая является достаточно устойчивым химическим соединением к расщеплению, однако разрушается под действием биохимических реакций. Контаминация грунтовых вод определило и их агрессивность по отношению к деревянным конструкциям – лежни, в которых по данным микологических исследований был определен видовой состав микромицетов: *Mucor racemosus*; *Mortierella lignicola*; *Penicillium waksmanii*; *Penicillium chrysogenum*; неспороносящий темноокрашенный гриб; неспороносящий светлоокрашенный гриб, *Scytalidium lignicola*. Высокая численность микромицетов, предопределяет низкую устойчивость древесины в исследуемой среде. Следует принять во внимание и наличие микромицетов в грунтах (см. табл. 3), которые также способствуют созданию коррозионной среды для древесины.

Dashko, R.E.; Vlasov, D.Yu.; Voronov, A.S.

Negative impact of microorganisms on multicomponent underground space of St-Petersburg: engineering, geological and geotechnical aspects;

2020; Construction of Unique Buildings and Structures; Volume 90 Article No 9001. doi: 10.18720/CUBS.90.1

Особое внимание необходимо уделить биоустойчивости известкового раствора ленточного фундамента, по причине выявления повсеместного его разрушения, совместно с вывалом бута. По результатам лабораторных определений пораженность оценивается как высокая (табл.4).

Таблица 4 - Микробиологическая пораженность известкового раствора фундаментов

Глубина отбора	Описание проб	Гетеротрофное на среде ГМФ	Численность тионовых бактерий	Численность анаэробных бактерий	Колониеобразующие единицы КОЕ микромицетов	Видовой состав микромицетов
1,3	Шурф 7. Раствор слабый кладки фундамента из бута валунов магматических пород	Более 10^7	10^2	+	-	<i>Грибы отсутствуют.; Масса бактериальных колоний;</i>
2,8	Наклонная скважина 7. Раствор известковистый	10^7	10^4	+++	3800	<i>Fusarium oxysporum; Cladosporium herbarum; Penicillium brevicompactum; Penicillium chrysogenum; Cladosporium cladosporioides</i>
3,3	Наклонная скважина 10. Раствор бутовой кладки	10^6	10^3	+++	5700	<i>Alternaria alternata; Cladosporium cladosporioides; Scytalidium lignicola; Penicillium brevicompactum; Penicillium waksmanii</i>

Высокая активность анаэробных форм бактерий подтверждается образованием газов с различной степенью растворимости, таких как сероводород – H_2S , углекислый газ – CO_2 , аммиак – NH_3 , молекулярный водород – H_2 , молекулярный азот – N_2 , метан – CH_4 и др. В свою очередь, биохимическая генерация газов также указывает не только на богатый биоценоз подземной среды, но и на его высокую активность, согласно стадиям микробиологической деградации органического вещества в анаэробной обстановке: органическое вещество → кетоны, спирты и др. → органические кислоты → газы [36]

При возможности депонирования малорастворимых газов (CH_4 , N_2 , H_2) в толще грунтов необходимо учитывать формирование газодинамического давления и изменение НДС. В условиях диссипации газов повышается содержание газовой составляющей в песчано-глинистых грунтах, что приводит к появлению плывунов и переходу глинистых образований в слабые квазипластичные неустойчивые разности.

При обследовании основания сооружения были зафиксированы отчетливый запах H_2S , а также примазки гидротроилита ($FeS \cdot nH_2O$), который образуется при участии сульфатредуцирующих бактерий, которые являются строгими анаэробами.

При проходке шурфов, с целью оценить сохранность и состояние фундаментов, была зарегистрирована обильная эксгаляция малорастворимых газов, которые в большинстве своем представлена метаном, на что указывает присутствие в грунтовых водах бактерий отрядов Methylococcales и Methylophilales (используют CH_4 и его производные в качестве источника углерода) (рис. 5). По данным метагеномного анализа, вышеуказанные отряды составляют 19,47% от всех изученных микроорганизмов в исследованной пробе воды.



Рис. 5 - Выделение малорастворимых газов при проходке шурфа

Преобразование состояния и свойств грунтов, а также разрушение несущих конструкций – фундаментов, приводят к росту неравномерных осадок зданий с постоянной скоростью 1,5 мм/год, причем тенденции к снижению скоростей за последние 20 лет не наблюдается.

Разрушение лежней создает условия для увеличения давления веса от сооружения. Характер трещин в несущих стенах дает основание характеризовать их состояние как аварийное (согласно ТСН 50-302-2004) (рис. 6). Наравне с этим существует дилемма: пытаться сохранить архитектурно-исторический облик улицы Тележная, производя усиление конструкций или заново возводить сооружения с воссозданием прежнего облика? Вопрос неоднозначен, однако необходимо определить биоустойчивость строительных материалов, которые будут использоваться, как при реконструкции, так и новом строительстве, по отношению к определенным видам микроорганизмов, а также учитывать инженерно-геологические и геотехнические особенности грунтов с высокой микробной пораженностью.



Рис. 6 - Фрагменты несущей стены здания 23 по улице Тележная. Трещины в перемычке и межоконном поясе раскрытием до 80 мм с вывалом раствора из швов, расслоением и смещением кладки, включая перемычку, с образованием конуса вывала.

Dashko, R.E.; Vlasov, D.Yu.; Voronov, A.S.

Negative impact of microorganisms on multicomponent underground space of St-Petersburg: engineering, geological and geotechnical aspects;

2020; Construction of Unique Buildings and Structures; Volume 90 Article No 9001. doi: 10.18720/CUBS.90.1

4 Conclusions

1. Необходимость изучения микробиологической деятельности на эксплуатационную надежность и устойчивость наземных сооружений выполнена на примере аварийных домов по Тележной улице дд. 21-29. При обследовании этих домов, наряду с изысканиями согласно нормативным документам, были проведены микробиологические исследования грунтов, грунтовых вод и старинных строительных материалов. Следует подчеркнуть, что такие комплексные исследования при изучении подземного пространства в старинных городах с целью повышения уровня безопасности реконструкции и реставрации архитектурно-исторических объектов, а также обеспечения их длительной устойчивости не проводятся. При анализе устойчивости сооружений, проведении реконструкции и реставрации старинных зданий необходимо рассматривать подземную среду как многокомпонентную систему – грунты, подземные воды, газы различной степени растворимости, микроорганизмы, подземные конструкции. Отмечается, что в инженерной практике исследований такой комплексный подход не используется. В мировой научной литературе аналогов подобных исследований неизвестно. Особенно важное значение имеет деятельность подземной микробиоты, поступающей из природных и техногенных источников.

2. Показана высокая микробная пораженность песчано-глинистых грунтов в основании сооружения, способствующая переходу песков в состояния пльвунов, а глинистых отложений в квазипластичные разности. Следует отметить негативную трансформацию моренных суглинков, которые согласно нормативным документам рассматриваются как надежное естественное основание либо как устойчивый и малодеформируемый несущий горизонт для свайных фундаментов. Формирование биопленок на минеральных частицах, состоящих из живых и мертвых клеток микроорганизмов, а также продуктов их метаболизма способствует переходу относительно устойчивых грунтов в квазипластичное состояние. Такие грунты имеют низкие углы внутреннего трения, пластический характер разрушения, модули общей деформации значительно меньше 22 кгс/см^2 , при этом вскрыты противоречия, которые заключаются в следующем: исследуемые грунты имеют полутвердую консистенцию, которая не может служить показателем устойчивости грунтов при их микробной пораженности. Грунтовые воды характеризуются как сильнозагрязненные, содержащие аномально высокое количество как трудно-, так и легкоокисляемой органики. О высоком содержании микроорганизмов воде свидетельствует значения БПК₅, достигающие $384 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$.

3. При обследовании состояния грунтовой толщи на данном объекте отмечено развитие биохимической газогенерации - образование сероводорода и метана. Наличие сульфатредуцирующих и метаногенерирующих бактерий подтверждается микробиологическими исследованиями, в том числе проведенным метагеномным анализом. Проанализировано воздействие газов с различной степенью растворимости на развитие коррозионной способности среды и напряженно-деформированное состояние.

4. Доказана высокая пораженность различных материалов, в том числе деревянных лежней, бута известняка, известковых растворов при воздействии микромицетов и бактерий. Установлена закономерность распределения микромицетов по глубине разреза в зависимости от аэробности среды. По результатам микробиологических исследований с использованием методов посевов установлена высокая численность гетеротрофным анаэробных форм микроорганизмов. Среди аэробных микроорганизмов выделены тионовые бактерии, генерирующие серную кислоту.

5. Высокая активность микроорганизмов предполагает необходимость учета их деятельности при проведении ремонтных работ, либо, при условии сноса здания, возведении нового комплекса. Во всех случаях необходимо использовать биоустойчивые конструкционные материалы, а также учитывать наличие пльвунов, пластический характер деформирования глинистых грунтов, наличие биохимических газов.

References

1. Edwards K.J., Fisher A.T., Wheat C.G. The deep subsurface biosphere in igneous ocean crust: frontier habitats for microbiological exploration. *Front. Microbio.* 3:8. 2012. doi: 10.3389/fmicb.2012.00008.

Dashko, R.E.; Vlasov, D.Yu.; Voronov, A.S.

Negative impact of microorganisms on multicomponent underground space of St-Petersburg: engineering, geological and geotechnical aspects;

2020; *Construction of Unique Buildings and Structures*; Volume 90 Article No 9001. doi: 10.18720/CUBS.90.1

2. Mills H.J., Reese B.K., Shepard A.K., Riedinger N., Dowd S. E., Morono Y., et al. Characterization of metabolically active bacterial populations in subseafloor Nankai Trough sediments above, within, and below the sulfate–methane transition zone. *Front. Microbio.* 3:113. 2012. doi: 10.3389/fmicb.2012.00113.
3. Lin L.-H., Slater G.F., Sherwood Lollar B., Lacrampe-Couloume G., Onstott T.C. The yield and isotopic composition of radiolytic H₂, a potential energy source for the deep subsurface biosphere. *Geochimica Cosmochimica Acta.* 69, 2005. Pp. 893-903.
4. Wu X., Holmfeldt K., Hubalek V., Lundin, D., Astrom M., Bertilsson S., Dopson M. (). Microbial metagenomes from three aquifers in the Fennoscandian shield terrestrial deep biosphere reveal metabolic partitioning among populations. *ISME J.* 10, 2016. Pp. 1192-1203.
5. Drake H., Ivarsson M. (). The role of anaerobic fungi in fundamental biogeochemical cycles in the deep biosphere. *Fungal Biology Reviews*, 32(1), 2018. Pp. 20-25. doi: 10.1016/j.fbr.2017.10.001.
6. Maksimovich N.G., Khmurchik V.T. Vliyaniye mikroorganizmov na mineralnyy sostav i svoystva gruntov. *Vestnik Permskogo universiteta Seriya: Geologiya*, 16(3), 2012. Pp. 47-54.
7. Khmurchik V. T., Maksimovich N. G. Ispolzovaniye aborigennoy mikroflory dlya borby s neftyanym zagryazneniyem podzemnykh vod. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya: Biologiya*, 10(5), 2007. Pp. 123-126.
8. Maksimovich N.G., Khmurchik V.T., Demenev A.D., Ivanov P.V., Gubin S.A. Vliyaniye mikrobiologicheskikh protsessov na podzemnyye vody i grunty v osnovanii plotiny. *Materialy KhKh soveshchaniya po podzemnym vodam vostoka Rossii*, 2012, Irkutsk, Pp. 107-111.
9. R.E.Dashko, Ya.A.Karpova. Rol mikrobioty pri izuchenii sostoyaniya i svoystv dispersnykh gruntov i razvitiy i inzhenerno-geologicheskikh protsessov (na primere Sankt-Peterburga). *Gruntovedeniye*, 1, 2012. Pp. 40-45.
10. R.E.Dashko, N.A.Perevoshchikova. Formirovaniye bioagressivnosti podzemnoy sredy i yeye vliyaniye na konstruktsionnyye materialy. *Gruntovedeniye*, 1, 2012. Pp. 35-39.
11. Dashko R.E., Alekseyev I.V. Mikrobiota bogatykh zheleznykh rud Yakovlevskogo mestorozhdeniya kak antropogenno-geneticheskiy faktor formirovaniya inzhenerno-geologicheskikh usloviy. *Sergeyevskiye chteniya. Razvitiye nauchnykh idey akademika Ye.M. Sergeyeva na sovremennom etape. Materialy godichnoy sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoekologii, inzhenernoy geologii i gidrogeologii.* 16, Pp. 392-397.
12. Dashko R.E., Gorskaya V.A. O neobkhodimosti izucheniya mikrobiologicheskoy komponenty v podzemnom prostranstve megapolisov dlya resheniya inzhenerno-geologicheskikh problem (na primere Sankt-Peterburga). «*Nauchnyy almanakh*», 9 (11), 2015. Pp. 1100-1106.
13. Dashko, R.E., Lebedeva, Y.A..Contamination of water-saturated sandy-clay soils in the underground space of megalopolises and its connection to buildings long-term stability (The case study of Saint-Petersburg). *international Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM.* 2017, Pp. 151-158.
14. Dashko R.E. Microbiota in underground space: role and consequences // *Environmental Geosciences and Engineering Survey for Territory Protection and Population safety. International conference EngeoPro-2011.* Moscow. 2011. Pp. 517-521.
15. Dashko R.E. Izucheniye zagryazneniya gruntov i podzemnykh vod Sankt-Peterburga na primere tipovykh obyektov. *Promezhutochnyy otchet po etapu 1997 g (kh./d. 22/97 B) SPbGGI*, 1997.
16. Ginzburg A. M., Kirikov B. M., pod obshch. red. B. M. Kirikova, *Arkhitektury-stroiteli Sankt-Peterburga serediny XIX - nachala XX veka*, St. Petersburg: Piligrim, 1996.
17. Litvinov M.A. *Opredelitel mikroskopicheskikh pochvennykh gribov.* Leningrad: Nauka, 1967. 304 p.
18. Barnett H.L. *Illustrated genera of Imperfect fungi.* 2nd ed. Minneapolis, Minnesota, 1967. 225 p.

Dashko, R.E.; Vlasov, D.Yu.; Voronov, A.S.

Negative impact of microorganisms on multicomponent underground space of St-Petersburg: engineering, geological and geotechnical aspects;

2020; *Construction of Unique Buildings and Structures*; Volume 90 Article No 9001. doi: 10.18720/CUBS.90.1

19. Barron G.L. The genera of Hyphomycetes from soil. Baltimore, 1968. 364 p.
20. Pidoplichko N.M., Milko A.A. Atlas mukoralnykh gribov. Kiyev: Naukova dumka, 1971. 117 p.
21. Ellis M.B. Dematiaceous Hyphomycetes. Kew. 1971. 608 p.
22. Ellis M.B. More Dematiaceous Hyphomycetes. Kew. 1976. 507p.
23. Pidoplichko N.M. Penitsillii (Klyuch dlya opredeleniya vidov). Kiyev: Naukova dumka, 1972. 152 p.
24. Levkina L.M. Klyuchi dlya opredeleniya vidov Cladosporium Lk ex Fr // Vestnik MGU. 1974. Ser. Biol., Pochv., 4. Pp. 77-81.
25. Bilay V.I. Fuzarii. Kiyev: Naukova dumka, 1977. 443 p.
26. Kirilenko T.S. Atlas rodov pochvennykh gribov. Kiyev, 1977. 128 p.
27. Kirilenko T.S. Opredelitel pochvennykh sumchatykh gribov. Kiyev: Naukova dumka, 1978. p.
28. De Hoog G.S., Hermanides-Nijhof E.J. Survey of the black yeasts and allied fungi // Studies in Mycology. 1977. 15. Pp. 178-223.
29. Hermanides-Nijhof E.J. Aureobasidium and allied genera // Studies in Mycology. 1977. 15. p. 141-177
30. De Hoog G.S. The black yeasts, II: Moniliella and allied genera // Studies in Mycology. 1979. 19. 90 p.
31. Lugauskas A.Yu., Mikulskine A.I., Shlyauzhene D.Yu. Katalog mikromitsetov - biodestruktorov polimernykh materialov. M.: Nauka, 1987. 349 p.
32. Bilay V.I., Koval E.Z. Aspergilly. Opredelitel. Kiyev: Naukova dumka, 1988. 204 p.
33. Bilay V.I., Kurbatskaya Z.A. Opredelitel toksinoobrazuyushchikh mikromitsetov. Kiyev: Naukova dumka, 1990. 234 p.
34. De Hoog G.S., Guarro J. Atlas of clinical fungi. CBS/Universitat Rovira i Virgili, 1995.720 p.
35. Dashko R.E. Environmental problems in geotechnics / Proc. of the International Geotechnical Conference, dedicated to the tercentenary. Saint Petersburg, 2003. 1, Pp. 95-106
36. Jay N. Meegoda, Brian Li, Kush Patel and Lily B. Wang A Review of the Processes, Parameters, and Optimization of Anaerobic Digestion // Int. J. Environ. Res. Public Health 2018, Pp. 2-3.