

ВОЗДЕЙСТВИЕ КОНТАМИНАЦИИ ПОДЗЕМНОЙ СРЕДЫ МЕГАПОЛИСА ОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ НА ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЕЕ КОМПОНЕНТОВ (НА ПРИМЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА)

Воронов А.С.¹, Дашко Р.Э.², Власов Д.Ю.³ Email: Voronov647@scientifictext.ru

¹Воронов Алексей Сергеевич – студент;

²Дашко Регина Эдуардовна – доктор геолого-минералогических наук, профессор,
кафедра гидрогеологии и инженерной геологии,
Санкт-Петербургский горный университет;

³Власов Дмитрий Юрьевич – доктор биологических наук, профессор,
кафедра ботаники, биологический факультет,
Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург

Аннотация: в этой статье описывается влияние длительной контаминации подземной среды органическими соединениями на трансформацию ее компонентов. Дано краткое описание истории освоения южной части Приморского района Санкт-Петербурга. На основании изучения истории освоения территории, был определен тип загрязнения. Представлены физико-механические характеристики, свойства и состояние грунтов, химический анализ грунтовых вод. Изучалось воздействие микроорганизмов на грунты, подземные воды и конструкционные материалы. Особое внимание уделялось деятельности анаэробных форм микроорганизмов. Предлагается использовать неклассические виды строительных материалов. Сделан общий вывод относительно влияния органических соединений на изменение компонентов подземной среды.

Ключевые слова: исторический анализ, контаминация, загрязнение, микроорганизмы, биокоррозия, газогенерация, восстановительные условия, анаэробные условия.

THE IMPACT OF CONTAMINATION OF THE UNDERGROUND ENVIRONMENT ON THE TRANSFORMATION OF ITS COMPONENTS BY ORGANIC COMPOUNDS IN ST PETERSBURG

Voronov A.S.¹, Dashko R.E.², Vlasov D.Yu.³

¹Voronov Aleksey Sergeevich – Student;

²Dashko Regina Eduardovna - Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor,
DEPARTMENT OF HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY,
SAINT-PETERSBURG MINING UNIVERSITY;

³Vlasov Dmitriy Yuryevich - Doctor of Biological Sciences, Professor,
DEPARTMENT OF BOTANY,
ST PETERSBURG UNIVERSITY,
ST PETERSBURG

Abstract: the paper describes the influence of long-term contamination of the underground environment on the transformation of its components by organic compounds. The short description of the history of reclamation of south part of Primorsky district of St Petersburg is given. As a result of research of the history of reclamation of area some the type of pollution was defined. The data of physicommechanical parameters, properties and condition of ground, chemical analysis of groundwater have been performed. The impact of microorganisms on the soil, the groundwater and structural materials were studied. Special attention was paid to an anaerobic microorganism activity. The unclassical species of structural materials are recommended to use. A general conclusion is made concerning as to influence on the transformation of components of the underground environment by organic compounds.

Keywords: historical analysis, contamination, pollution, microorganisms, biocorrosion, gas generation, reductive conditions, anoxic conditions.

УДК 550.846.5

Подземное пространство при решении проблем освоения и использования необходимо рассматривать как систему, состоящую из следующих компонентов: грунты (породы), подземные воды (водоносные горизонты и воды водоупоров), газы, микробиота. В многокомпонентной среде эксплуатируются подземные конструкции (обделки тоннелей, стены в грунте, инженерные коммуникации и пр.), которые функционируют под действием постоянных и/или знакопеременных напряжений, в условиях различной обводненности, изменения физико-химической, биохимической, кислотно-щелочной обстановки. Как

известно, коррозия строительных материалов происходит более интенсивно, если они находятся под напряжением.

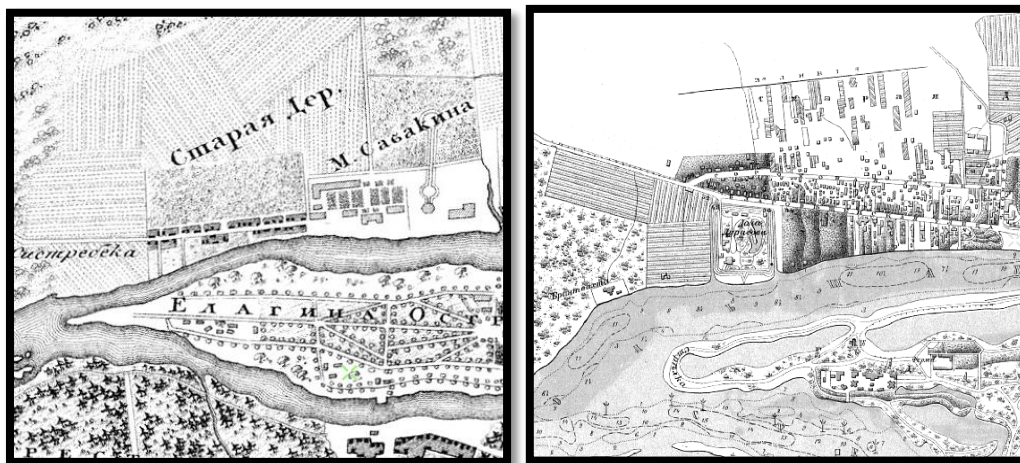
Компоненты подземного пространства имеют тесную взаимосвязь друг с другом, и изменение одного из них влечет за собой преобразование состояния среды. Так, например, контаминация подземных вод органическими соединениями, влечет за собой изменение окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий, активизацию (или подавление) деятельности микроорганизмов, возможность биохимической генерации газов, что способствует формированию плывунов и тиксотропных свойств грунтов, а также биокоррозии конструкционных материалов [2, 19].

Органические соединения могут быть природного (болотные отложения) и техногенного генезиса, причем содержание и состав последних зависят от технологии производства и характера использования территории в историческом аспекте.

Наиболее интенсивное влияние на контаминацию органическими соединениями подземной среды оказывают пищевая, деревообрабатывающая, нефтеперерабатывающая, кожевенная промышленности. Региональное воздействие в подземной среде городов оказывают утечки из систем водоотведения, поскольку канализационные стоки содержат 52-58% органических веществ (белки, жиры, углеводы). Кроме того, в 1 мл канализационных вод содержится 10^7-10^8 клеток микроорганизмов. К одним из активных источников контаминации относятся ликвидированные и действующие кладбища, которые обогащают подземную среду органическими соединениями абиотического и биотического генезиса [4, 51].

В качестве примера можно привести специфику контаминации одной из южных зон Приморского района, которая отразилась на инженерно-геологических условиях района территории, предназначенной для строительства жилого комплекса. При этом в процессе оценки контаминации подземной среды и трансформации ее компонентов подземной среды был учтен исторический аспект инженерно-хозяйственного использования территории в период функционирования города.

С XVIII века южная часть Приморского района была использована в качестве сельскохозяйственных угодий и прилегающих к ним усадеб (рис. 1). Такой вид эксплуатации земли использовался вплоть до начала XX в. [8].



а)

б)

Рис. 1. Фрагмент топографической карты окрестностей г. Санкт-Петербурга: а) 1817 г. б) 1883 г. [3]

Примечание: - участок строительства в XXI в.

В 1918-1938 гг в пределах территории застройки в 21 веке, существовал деревообрабатывающий завод (рис. 2).

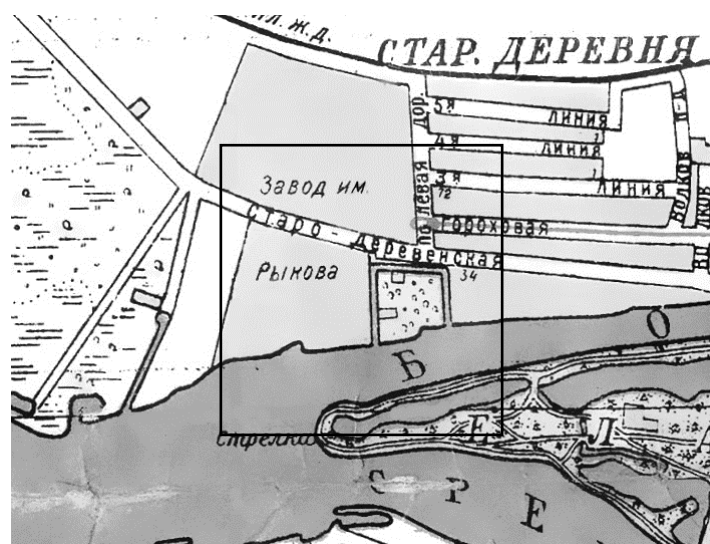


Рис. 2. Фрагмент северной части плана Ленинграда 1933 г. [3]

Примечание: - участок строительства в XXI в.

Технология деревообработки – это совокупность процессов обработки древесины с помощью различных физико-химических, химических и других видов воздействия на материал. Процесс деревообработки постоянно меняется. В первой половине XX века в качестве веществ, повышающих качество древесины, использовались такие органические жидкости как: креозот S, получаемый в процессе обработки нефтепродуктов соединениями серы, олифа, антраценовое масло [1,43]. Хранение этих органических веществ и их применение обычно сопровождается утечками в подземную среду, что привело к загрязнению подземных вод и грунтов органическими соединениями. С 1938 года, после ликвидации завода, рассматриваемая территория до XXI в не использовалась.

С 2011г. по 2014г. на этом участке функционировала автостоянка, причем никаких изолирующих покрытий не использовалось, что также отразилось на формирование состояния и свойств подземных вод и грунтов при проливах топлива во время эксплуатации автостоянки.

История использования территории может быть представлена по отдельным этапам (векам) (табл. 1).

Таблица 1. История освоения территории нового строительства в южной части Приморского района

Век	Использование территории	Характерные вещества, поступающие в подземную среду
До нач. XVIII в.	Заболоченные земли, редкие поселения	Растительная и техногенная органика
XVIII	Поместья и сельскохозяйственные угодья	Органические вещества животного происхождения, биогенные элементы (N, P, S), хозяйственно-бытовые стоки (органика биогенного и абиогенного генезиса)
XIX		
XX	Деревообрабатывающий завод	Широкий спектр органических веществ, используемых в технологических циклах (креозот, олифа, и др.)
Начало XXI	Автостоянка	Нефтепродукты и горюче-смазочные вещества

Краткий анализ истории освоения территории свидетельствует о преимущественно высокой степени контаминации подземной среды органическими соединениями. Кроме того, необходимо учитывать заболоченность этого района, которая оказала необратимое воздействие на подстилающие грунты и подземные воды за счет поступления органики абиогенного (растительного) и биогенного генезиса (болотная микрофлора).

Влияние болот может проследиваться по результатам наших исследований, проводимых кафедрой «Гидрогеологии и инженерной геологии» в разные годы, до глубины 50 м и более.

Следует отметить, что болота способствуют формированию анаэробных условий в подземной среде и обогащают подстилающие грунты гетеротрофными группами микроорганизмов (сульфатредукторы, аммонифицирующие, целлюлозоразрушающие, денитрифицирующие, железовосстанавливающие бактерии и некоторые микровицеты) [5, 214].

В настоящее время болотные отложения сняты и заменены насыпными техногенными образованиями, мощность которых не превышает 2,0 м, ниже прослеживаются водонасыщенные пылеватые пески озерно-морского генезиса с растительными остатками, которые подстилаются озерно-ледниковыми отложениями, мощностью 2,6-4,9 м. Под озерно-ледниковыми образованиями развиты моренные суглинки ошашковской стадии оледенения. Ниже по разрезу вскрыты коренные глины верхнего венда, которые в верхней части дислоцированы, трещиноваты. Вскрытая мощность глин составляет 19,4 м.

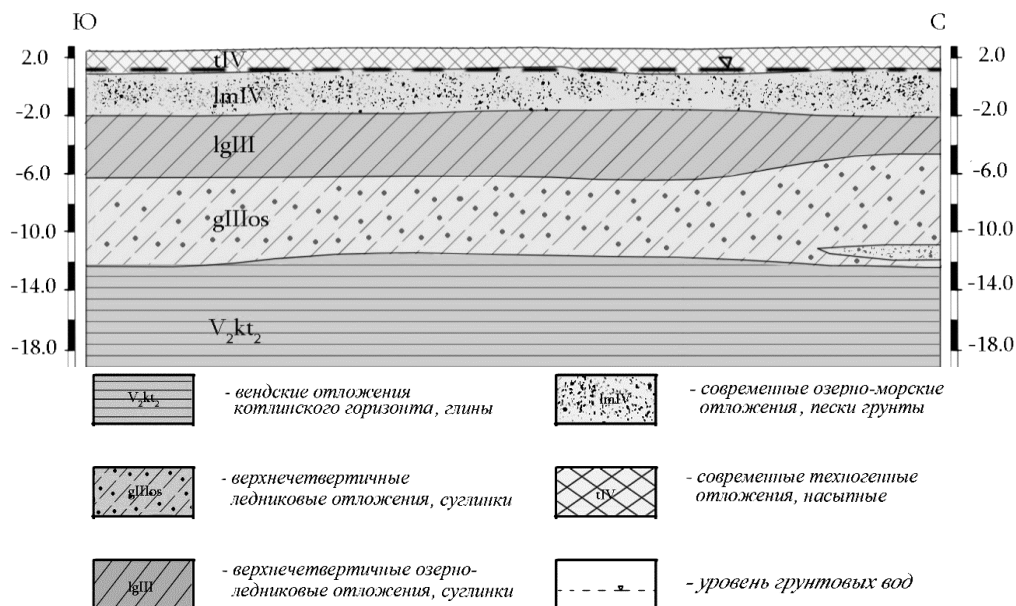


Рис. 3. Схематический геолого-гидрогеологический разрез строительной площадки

Грунтовые воды, приуроченные к техногенным, озерно-морским и озерно-ледниковым отложениям, отражают специфику хозяйственного использования территории. Согласно проведенному химическому анализу, вода пресная с минерализацией 0,77 г/дм³ хлоридно-гидрокарбонатная натриевая (табл. 2).

Таблица 2. Химический состав грунтовых вод

Определяемые показатели	Результаты исследований		
	Мг/дм ³	Мг-экв/дм ³	Мг-экв%
Натрий (Na ⁺)	113	4,92	57
Калий (K ⁺)	28	0,72	8
Кальций (Ca ²⁺)	46	1,15	13
Магний (Mg ²⁺)	23	0,95	11,0
Аммоний-ион (NH ₄ ⁺)	1,2	0,07	1
Железо общее (Fe ²⁺ +Fe ³⁺)	44	0,79	10
Сумма катионов		8,6	100
Кремниевая кислота (по Si)	5,8	0,21	2
Гидрокарбонат ион (HCO ₃ ⁻)	380	6,23	64,0
Хлорид-ион (Cl ⁻)	109	3,07	32
Сульфат-ион (SO ₄ ²⁻)	20	0,21	2
Нитрит-ион (NO ₂ ⁻)	0,11	0,002	0
Нитрат-ион (NO ₃ ⁻)	0,60	0,01	0
Сумма анионов		9,732	100
Перманганатная окисляемость	107 (20)	MgO ₂ /дм ³	
ХПК	846 (106)	MgO ₂ /дм ³	
БПК ₅	78 (14)	MgO ₂ /дм ³	
Сухой остаток	554	Mg/дм ³	
Минерализация	771	Mg/дм ³	
Водородный показатель (pH)	8,8	Ед. pH	

Жесткость общая	4,2	°Ж
-----------------	-----	----

Примечание: в скобках указаны значения ХПК, перманганатной окисляемости и БПК₅ для пробы, которая простояла четверо суток после доставки воды в лабораторию в условиях воздействия кислорода.

Поскольку величина химического потребления кислорода равна 846 мгО₂/дм³, а перманганатная окисляемость - 107 мгО₂/дм³, в воде преобладает трудноокисляемая органика, что указывает на существенное влияние деревообрабатывающего предприятия на особенности химического состава грунтовых вод и их состояния.

Следует также отметить, что высокое значение БПК₅, свидетельствует о наличии аэробных форм микроорганизмов в подземных водах.

Кроме того, при опробовании скважин в грунтах было зафиксировано большое количество гидротроилита (FeS*nH₂O), который образуется за счет сероводорода, который генерируется анаэробными сульфатредуцирующими бактериями, и наличия восстановленных форм Fe²⁺. Образование сероводорода повышает агрессивность среды по отношению к строительным материалам.

Органическое вещество является питательным и энергетическим субстратом для гетеротрофных микроорганизмов. Для определения видового состава микрофлоры и изучения их влияния на конструкционные материалы, грунты и продуцирование газов, были выполнены посевы в микробиологической лаборатории на воду и грунты, которые показали активный рост анаэробных и вышедших из анабиотического состояния аэробных форм микроорганизмов. Как известно, микроорганизмы обладают приспособительным признаком, что отражается их сорбцией (адгезией) на твердых поверхностях – минеральных зернах грунтов с образованием биопленок [3, 24]. По результатам исследования образцов грунта, биопленка имеет сложное строение, что выражается в наличии пяти-семи слоев живых и мертвых клеток микроорганизмов и продуктов их метаболизма. При высоком содержании микробной массы наблюдается не только образование биопленок, но и заполнение порового пространства грунтов микробной массой.

Изменение физико-химической обстановки и наличие микроорганизмов, создают условия для преобразования физико-механических и деформационных свойств грунтов – снижения их сопротивления сдвигу, модуля общей деформации, и переходу в разряд неустойчивых отложений. Кроме того, происходит снижение коэффициента фильтрации и гравитационной водоотдачи: пески переходят в состояние пльвунов, что подтверждается их поведением при проходке скважин с образованием «пробок» [2, 19].

При определении физико-механических характеристик грунтов получены следующие показатели, представленные ниже (табл. 3).

Таблица 3. Значения физико-механических характеристик грунтов

Наименование грунтов	Геологический индекс	Плотность грунта г/см ³ ρ	Коэффициент пористости е	Естественная влажность д.е. We	Число пластичности Ip	Показатель текучести Il	Прочностные характеристики		Модуль деформации МПа МПа кгс/см ² кгс/см ² Е		
							Угол внутреннего трения φ	Сцепление МПа кгс/см ² С			
										°	кгс/см ²
Насыпные грунты, слежавшиеся	tIV	R0 = 0.1 МПа (1,0 кгс/см ²)									
Пески пылеватые, средней плотности	ImIV	1.97	0.700	Водонас .	-	-	4	0,01	15		
								0,1	150		
Пески пылеватые, плотные	ImIV	2.07	0.550	Водонас .	-	-	4	0,012	28		
								0,12	280		
Суглинки ленточные текучепластичные, с прослоями текучих	lgIII	1.84	1.045	0.38	0.14	0.98	0	0.01	6		
								0.1	60		

Суглинки ленточные текучепластичные, с утолщенными прослоями песка	lgIII	1.94	0.795	0.29	0.11	0.93	0	0.01	8
								0.1	80
Суглинки слоистые текучие с прослоями текучепластичных, ленточные и слоистые	lgIII	1.89	0.915	0.33	0.11	1.09	0	0.011	7
								0.11	70
Супеси пластичные (IL>0.50)	gIII	2.20	0.396	0.14	0.05	0.67	17	0.058	8
								0.58	80
Супеси пластичные (IL<0.50)	gIII	2.21	0.394	0.14	0.06	0.31	22	0.060	14
								0.60	140
Пески гравелистые, плотные	gIII	2.09	0,500	Водо- нас.	-	-	42	0,0015	45
				0,015	450				
Супеси твердые	gIII	2.31	0.276	0.10	0.04	-0.11	15	0.124	6
								1.24	60
Глины твердые дислоцированные	Vkt	2.13	0.511	0.18	0.12	-0.39	3	0.115	6,6
								1.15	66
Глины твердые	Vkt	2.17	0.476	0.17	0.13	-0.40	15	0.104	11
								1.04	110

Следует отметить, что глинистые грунты, прежде всего, озерно-ледникового генезиса, обладают аномально низкими значениями прочности. Моренные грунты в анаэробных условиях при микробной пораженности грунтов, имея молекулярный тип структурных связей при сохранении устойчивых форм консистенции, характеризуются развитием пластических деформаций, протекающих в течение длительного времени.

Контаминация подземной среды органическими соединениями приводит к формированию процессов, предопределяющих невозможность твердения бетонов при устройстве ограждающих конструкций, а также буронабивных свай. На рассматриваемой площадке было запроектировано устройство свайного фундамента. Несущим горизонтом должны были служить моренные суглинки, однако преобразование ледниковых отложений при контаминации способствовало их переходу в квазипластичные разности, при наличии которых в зоне основания сооружения в процессе его эксплуатации развиваются длительные и неравномерные осадки, что может перевести здание в предаварийное и аварийное состояния. В таких случаях необходимо в качестве несущего слоя для свайного фундамента использовать глины верхнего венда, которые даже в условиях микробной пораженности и степени дезинтегрированности сохраняют остаточную прочность и деформационную способность, достаточную для обеспечения безопасности эксплуатации 7-8-этажного здания.

Практика устройства буронабивных свай (БНС) свидетельствует о том, что при величине перманганатной окисляемости более 15 мгО₂/дм³, а также наличия следов нефтепродуктов, бетоны на портландцементе не набирают проектной прочности и не выполняют функции несущих конструкций, следовательно, применение портландцемента в БНС не предоставляется возможным. Рекомендуется использовать бетон на пуццолановом цементе, либо полимербетоны, в которых вяжущим служат кремнеорганические высокомолекулярные смолы или феноло-формальдегидная смола. При этом необходимо испытание всех строительных материалов на биоустойчивость в реальных условиях подземной среды.

Заключение:

1. Анализ исторического аспекта освоения территории нового строительства с учетом ее хозяйственного использования в прошлом позволяет оценить уровень и длительность контаминации грунтов и подземных вод различными соединениями природного и техногенного генезиса. Особенно важное значение при оценке инженерно-геологических и геотехнических условий имеет аккумуляция органического вещества абиотического и биотического генезиса, которая способствует преобразованию окислительно-восстановительной и кислотно-щелочной обстановки и определяет возможность развития

биохимических процессов, прежде всего газогенерации, при активизации деятельности анаэробных форм микроорганизмов.

2. Формирование восстановительных условий в подземной среде приводит к редукции железа Fe^{3+} и его соединений, что вызывает разрушение цементационных связей в песчано-глинистых грунтах за счет гидроксидов – $Fe(OH)_3 \cdot nH_2O$, а также диспергацию глинистых грунтов и увеличение их гидрофильности. Сорбция клеток микроорганизмов и продуктов их метаболизма на минеральных частицах приводит глинистые грунты в пластическое состояние, а пески в состояние плывунов, что и было выявлено в процессе инженерно-геологического опробования грунтов.

3. Бетон, вяжущим веществом которого является портландцемент, в восстановительной обстановке при высоком содержании органической и микробной компоненты не набирают проектную величину прочности, а в некоторых случаях вовсе не твердеют. В таких агрессивных средах следует применять особые строительные материалы, устойчивые в конкретных условиях, которые характеризуются определенными типами контаминации органическими соединениями, видовым составом микроорганизмов. Такие материалы следует исследовать на предмет их устойчивости непосредственно в контуре площадки строительства не только для определения прочности по истечению срока твердения материала, но и на биокоррозионную устойчивость.

Список литературы / References

1. Горшин С.Н. Консервация древесины // Лесная промышленность, 1977. С. 43-45.
2. Дашко Р.Э., Карпова Я.А. Проблемы инженерной геологии приморского района Санкт-Петербурга в связи с перспективами освоения подземного пространства // Записки Горного института». Т. 206. Санкт-Петербург, 2013. С. 19.
3. Дашко Р.Э. Микробиота в геологической среде: ее роль и последствия // Сергеевские чтения: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (23- 24 марта 2000 г.). М., 2000. С. 17-25.
4. Дашко Р.Э., Зайдулина Л.М. Воздействие природных и техногенных факторов на развитие коррозионных процессов систем водоотведения в историческом центре Санкт-Петербурга // Естественные и технические науки. № 6, 2017. С. 51.
5. Захарова Е.Г. Влияние погребенных болот на формирование инженерно-геологических и геоэкологических условий в подземном пространстве Санкт-Петербурга // Записки Горного института. Т. 176. Россия, 2008. С. 214.
6. Топографическая карта окружности Санкт-Петербурга 1817 года. [Электронный ресурс]: Старинные карты регионов России и стран СНГ. Режим доступа: http://www.etomesto.ru/map-peterburg_1817/ (дата обращения 14.06.2018).
7. Воротников М.С. План Санкт-Петербурга 1883 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.etomesto.ru/map-peterburg_schubert/ (дата обращения: 14.06.2018).
8. Куприн А. Муниципальное образование Озеро Долгое (Санкт-Петербург). [Электронный ресурс]: Геральдика. Режим доступа: <http://www.heraldicum.ru/russia/subjects/towns/dolgoe.htm/> (дата обращения: 19.06.2018).