

Анализ причин разрушения набережных на Петровском стадионе.

Р.Э.Дашко, О.Ю.Александрова

Петровский остров, в южной части которого размещается Петровский стадион (бывш. им. В.И. Ленина), располагается в исторической части города и отделен от Петроградского острова рекой Ждановкой. В южной части Петровский остров омывается Малой Невой, с севера – р. Ждановкой. Эта часть территории размещается вне погребенной долины. Соответственно, коренные породы глины- венда залегают на глубине 17,0-18,0 м. Геолого-литологический разрез характерен для низкой литориновой террасы (сверху вниз): техногенные образования, литориновые пески, супеси и суглинки, озерно-ледниковые суглинки и глины, которые залегают на лужской морене, представленной суглинками.

Освоение территории острова началось в 1710 г. Следует отметить, что основная застройка и размещение сооружений различного назначения в течение 290 лет проводились в северной и центральной частях острова, поскольку эти участки характеризовались наиболее высокими отметками дневной поверхности и отсутствием болот, а также в меньшей степени подвергались затоплению. Низкие отметки дневной поверхности в южной части Петровского острова предопределили высокую степень его заболачивания, что существенно повлияло на формирование физико-химических и биохимических условий в подземном пространстве и определило состояние и свойства пород, а также степень их микробиологической пораженности. Освоение острова и использование его территории привело к дополнительному привнесению загрязняющих веществ в грунтовые воды и породы, что определило интенсивность их техногенного преобразования в разрезе.

Основные этапы освоения южной части Петровского острова и связанный с ними характер загрязнения его территории приведены в табл.1. Особо следует остановиться на последнем этапе освоения южной части Петровского острова – а именно на существовании здесь с 1924 года стадиона. На начальной стадии его эксплуатации (1924-1941 гг.) функционирование стадиона оказывало меньшее негативное воздействие на геологическую среду по сравнению с его влиянием на природную обстановку после 1961 года, когда стадион был перестроен и смог вмещать 13 тысяч зрителей. В 1980 году была произведена реконструкция стадиона: значительно расширены трибуны, тренировочные залы, душевые, возросло количество туалетов, введена в эксплуатацию гостиница, кафе и очистные сооружения. Канализационная система Петровского стадиона не присоединена к общегородской сети. Она работает без очистных сооружений и имеет в северо-восточной и восточной частях стадиона 10 выпусков в р. Ждановку, в

Таблица 1

Этапы освоения южной части Петровского острова и оценка их влияния на формирование состава грунтовых вод и их загрязнения.

Интервал времени	Характер освоения территории	Природное и техногенное воздействие на грунтовые воды и породы
До 1703 г.	Не освоена. Заболоченный лес.	Формирование восстановительной обстановки, воздействие природной микрофлоры и органических соединений за счет лесного опада и болот.
1714 -1738 гг.	Функционирование оружейного магазина. Частичное сохранение лесных угодьев.	Хозяйственно-бытовые отходы – появление биоценозов, связанных с ними. Воздействие лесного опада и природной микрофлоры. Активизация микробиологической деятельности.
1736- 1762 гг.	Уничтожение лесных угодьев. Размещение масляных амбаров.	Загрязнение органическими соединениями, легкоусваиваемыми микрофлорой – активизация микробиологической деятельности.
1762- 1777 гг.	Размещение складских	Хозяйственно-бытовое загрязнение, в том числе органическими соединениями, активная

	помещений.	микробиологическая деятельность, существование восстановительной обстановки.
1777- 1806 гг.	Строения отсутствуют, возможно складирование отходов воскового завода.	К северу от рассматриваемой территории наблюдается вторичное заболачивание.
1806- 1826 гг.	Владение удельного департамента (пустырь, заросший кустарником).	Хозяйственно-бытовое загрязнение. Возможно существование свалок, в том числе отходов скотобойни.
1826- 1924 гг.	Существование парковой зоны и увеселительных заведений.	Хозяйственно-бытовое загрязнение и влияние листовного опада на микробиологическую деятельность в почвах и подпочвенных горизонтах
с 1924 г. - по настоящее время	Стадион с несовершенной канализационной системой, действующей в пределах острова, с выпусками в р. Ждановку и Малую Неву.	Загрязнение канализационными стоками, а также за счет утечек из очистных сооружений, дополнительное загрязнение нефтепродуктами. Повышение содержания органических и неорганических соединений, дополнительный привнос микрофлоры. Сохранение анаэробной обстановки в подземном пространстве.

Малую Неву действует 8 выпусков. Непосредственный сброс в водотоки без очистки канализационных стоков приводит к загрязнению речных вод прибрежной части.

Для оценки степени их загрязнения СПГГИ были отобраны пробы в 5 пунктах (июль 2000г), а в апреле 2000 г. институтом Гипроречтранс - в 2 пунктах (табл. 2).

Результаты химических анализов речных вод показали, что отмечается повышение их минерализации по сравнению с пробами невской воды, отобранных на гидрохимических створах вне зоны влияния береговых сбросов. При этом следует указать, что опробование проводилось при отсутствии массовых мероприятий на стадионе. Обычно минерализация невской воды не превышает 68-72 мг/л. Вместе с тем, состав речных вод прибрежной зоны зависит от времени года. В весенний период при интенсивном поверхностном стоке наблюдается повышение концентрации загрязняющих компонентов: минерализация повышается в 1,5 – 2 раза, резко возрастает содержание сульфатов и хлоридов. Как следует из табл. 2, в речных водах отмечается повышенное содержание органики (величина ХПК). Основными загрязняющими компонентами являются сульфаты, соединения азота.

Таблица 2

Характеристика точек опробования речных вод.

№ пункта отбора	Сбрасываемые стоки	Местоположение точки отбора	Основные показатели химического состава речных вод в зонах выпусков.			
			Минерализация, мг/л	Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /л	ХПК, мгО ₂ /л	СО ₂ арп.

1	Сброс с очистных сооружений гостиницы	Юго-восточная часть стадиона - р. Ждановка (отмечается разрушение бетонной banquetки набережной)	126	125	36	14,3
2	Выпуск из канализационной системы гостиничного комплекса	--/--	118	19	24	Не опр.
3	Выпуск из канализационной системы общественных туалетов	Восточная часть стадиона. Исток р. Ждановки. Разрушение бетона набережной.	127	29	48	15,4
4	Выпуск из канализационной системы, аккумулирующей стоки душевых и туалетов	Южная часть стадиона, р. Малая Нева.	120	21	28	14,4
5	--/--	Юго-западная часть стадиона, р. М. Нева.	128	22	32	16,5

Помимо загрязнения речных вод наблюдается интенсивная и длительная контаминация подземного пространства в южной части Петровского острова. Основными компонентами, принимая во внимание особенности загрязнения территории (см. табл. 1), являются органические соединения, характерные для хозяйственно-бытовых жидких и твердых отходов, в том числе канализационные воды, а также утечки из очистных сооружений. Хозяйственно-бытовое загрязнение обычно сопровождается дополнительным поступлением микрофлоры.

Вместе с тем, на фоне общего загрязнения подземного пространства можно выделить особо неблагоприятные зоны, прилегающие непосредственно к канализационным трубопроводам, утечки из которых создают ореолы с повышенным содержанием соединений азота, серы, хлоридов, а также легкоокисляемой органики (белки, жиры, углеводы). Канализационные стоки содержат также тонкие взвеси, которые сорбируются на минеральных зернах, прежде всего, песчаных отложений. Дисперсные грунты активно поглощают также макромолекулы вышеуказанных органических соединений. Обычно радиус влияния безнапорных канализационных систем в зависимости от проницаемости пород может варьировать в пределах 15-30 м.

Подобный тип контаминации обычно приводит к резкому снижению фильтрационной способности песчаных отложений и формированию в них плавунных свойств. Вполне понятно, что такие пески будут обладать высокой степенью чувствительности к динамическим и вибрационным нагрузкам, пониженными характеристиками прочности, прежде всего, относительно невысокими углами внутреннего трения. Существование восстановительной среды совместно с микробиологической пораженностью песчано-глинистых грунтов создают предпосылки для их перехода в категорию слабых тиксотропных отложений с высоким содержанием бактериальной массы. В таких отложениях полностью отсутствуют цементационные связи, а молекулярные силы ослаблены за счет экранирующих биопленок на минеральных частицах.

Длительность загрязнения территории и существующая нисходящая фильтрация должны привести к загрязнению водонасыщенной грунтовой толщи на значительную глубину, которая может измеряться десятками метров, как показывают результаты исследования в сходных геоэкологических условиях на территории Санкт-Петербургского региона. Интенсивность загрязнения подземного пространства в условиях активной микробиологической деятельности вызывает генерацию биохимических газов. Сероводородное проявление отмечается в северо-восточной части Петровского стадиона в зоне влияния очистных сооружений гостиницы.

Сероводород обычно генерируется сульфатредуцирующими бактериями при наличии органического материала, сульфатов и анаэробной среды. Сероводород хорошо растворяется в воде, формируя низкие значения pH и оказывая агрессивное воздействие на металлические конструкции и бетон. В этой зоне грунты характеризуются такой степенью подвижности, что оказалось невозможным пройти скважину для отбора образцов.

О степени загрязненности грунтовых вод, приуроченных к техногенным, аллювиальным и литориновым пескам, можно судить по результатам анализов, представленным в табл. 3.

Таблица 3

Результаты определения химического состава грунтовой воды.

Содержание компонентов, мг/л									Сухой остаток, мг/л	Минерализация, мг/л	pH
Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ + Na ⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻			
120,2	21,9	112,7	2,0	488,1	153,6	58,4	-	-	712,8	956,9	7,04

Как следует из данных анализов, грунтовые воды загрязнены соединениями азота, сульфатами и, в меньшей степени хлоридами. Состав грунтовых вод свидетельствует о техногенной природе загрязнения, которая связана с утечками из канализационной сети и очистных сооружений.

Разгрузка грунтовых вод осуществляется в речную систему через разрушенные участки набережной, наибольшие деформации которой были зафиксированы в северо-восточной, восточной, юго-восточной, южной и юго-западной частях набережной вокруг стадиона. При этом наблюдается сильное разрушение бетона набережной на участках выпусков канализационной и ливневой систем, а также очистных сооружений. Для таких участков характерно растворение и выщелачивание раствора в диабазовой кладке и практически полная деградация бетонов, сопровождающаяся образованием растворимых и легкорастворимых солей (сульфатов, нитратов и хлоридов кальция). Кроме того, при воздействии на бетоны канализационных стоков кристаллизуются двойные соли типа CaSO₄*Ca(NO₃)₂*3H₂O. Обследования водных вытяжек из разрушенных бетонов и растворов показали, что под длительным воздействием канализационных стоков разрушаются даже самые устойчивые цементные минералы – силикаты кальция, в водных вытяжках присутствуют в достаточных концентрациях ионы кремневой кислоты (табл. 4).

Таблица 4

Результаты определения химического состава водных вытяжек из разрушенных бетонов и раствора диабазовой кладки набережной Петровского стадиона.

Место отбора пробы	Строительный материал	Содержание компонентов, мг/л										pH	Общая щелочность мг-экв/л
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ + Na ⁺	H ₄ SiO ₄	HCO ₃ ²⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	OH ⁻		
С.-В. часть набережной р. Ждановки около выпуска из очистных сооружений	Раствор диабазовой кладки	551	18	142	Не опр	-	150	15	350	13,3	340	12,3	25
--	Бетон нижнего банкета	116	20,4	-	15	173,2	33	160	8	3,1	-	10,3	1,1
--	Бетон с раствором из-под диабазовой кладки	124	21,6	-	45	84	72	120	40	7,7	10,2	10,8	3,6

Ю.-В. часть набережной- исток	Бетон из разрушенного нижнего банкета												
р. Ждановки		142	2,4	5,3	35	-	54	193	36	13,3	11,9	10,4	2,5

Анализ результатов исследований состояния физико-механических свойств пород разреза Петровского стадиона показал, что консистенция глинистых пород (озерно-ледниковых отложений) находится в полном соответствии со степенью их контаминации загрязненными стоками. Показатель консистенции в зоне наибольших

утечек из канализационной системы повышается до 1,5 (резко выраженное текучее состояние). На участках с минимальным влиянием загрязнения этот показатель снижается до 1,0 и менее. Водонасыщенные пески, содержащие поллютанты, в том числе и биотического генезиса, в разрезе Петровского стадиона ведут себя как плавунные разности, хотя их гранулометрический состав не отвечает зерновому составу истинных плавуннов.

Озерно-ледниковые отложения характеризуются низкими значениями прочности и пластичным характером деформирования. Испытания образцов в условиях трехосного сжатия показали, что угол внутреннего трения снижается до 4° и менее, а сцепление не превышает 0,015 МПа.

Эти породы имеют высокий уровень микробиологической пораженности, о чем свидетельствуют данные определений суммарного микробного белка (СБ), приведенные в табл.5

Сравнивая указанные в табл.5 значения СБ для рассматриваемого разреза с соответствующими значениями разрезов в сходных инженерно-геологических и геоэкологических условиях, можно говорить об аномально высокой микробиологической пораженности данных грунтов разреза, что, по всей вероятности, связано с историей освоения этого острова, современным состоянием подземных коммуникаций, а также природной заболоченностью южной части Петровского острова.

Таблица 5

Величина суммарного белка (СБ) в разрезе пород Петровского стадиона.

Глубина отбора, м	Величина СБ, мкг/г	Генетический и литологический тип породы
0,50	92,3	Техногенные, песчаные и супесчаные отложения
0,70	97,0	
1,5	125,0	Контактная зона техногенных и литориновых супесей и суглинков, содержащих природную органику
1,8-2,0	282,6	
2,9-3,0	263,4	
3,5	253,3	Литориновые супеси, суглинки с органическими остатками
4,75	275,2	
5,0	271,4	
5,5	258,0	
6,7	266,3	Озерно-ледниковые суглинки и глины
7,7	235,1	
8,1	285,7	
8,5	296,5	

Конструкция набережной Петровского стадиона приведена на рис.1. Следует отметить, что такая конструкция в условиях постепенно разупрочняющихся грунтов, слагающих откос и его основание, не является надежной. Сваи и шпунтовая стенка, заглубленные в слабые озерно-ледниковые отложения, не могут служить защитной конструкцией при формировании оползневых смещений. Развитие оползней вызвано низкой несущей способностью озерно-ледниковых глин и суглинков, которая для квазипластичных грунтов не превышает 0,04 МПа. В то же время давление пород и фрагментов набережной в откосной части превосходит эту величину. Соответственно, оползневые деформации начинают развиваться за счет отдавливания слабых пластичных ленточных глин из-под нижнего бетонного банкета, что провоцирует развитие оползневых смещений непосредственно в теле откоса. Трещины закола, по данным съемки указывающие на такой тип деформаций, размещаются на расстоянии $0,8-1,1H$, где H – высота откоса, несколько превышающая 3 м. Параллельное расположение нескольких трещин закола на поверхности асфальта вблизи бровки откоса свидетельствует о количестве циклов отдавливания и смещения пород в откосе, что связано с размывом речными водами валов выпирания. Известно, что формирование таких валов стабилизирует развитие оползня, поскольку выдавленная порода выполняет функцию пригрузки. Размыв последней предопределяет появление следующего цикла оползания. Выдавливание и смещение пород в откосе сопровождается формированием провалов асфальта за бровкой откоса в пределах призмы смещения.

Кроме того, негативную роль играют грунтовые воды, которые разгружаются по отдельным дефектам кладки набережной, создавая значительное гидродинамическое давление за счет существенной кривизны депрессионной воронки (вызванной низкой фильтрационной способностью песчаных отложений, обладающих пльвинными свойствами), а также наличия куполов подпора при утечках из инженерных коммуникаций.

Разрушению набережной способствуют не только механические воздействия, но также и химические – вымывание раствора из кладки, при котором нарушается ее монолитность, происходит растрескивание и последующее размягчение бетона нижнего банкета.

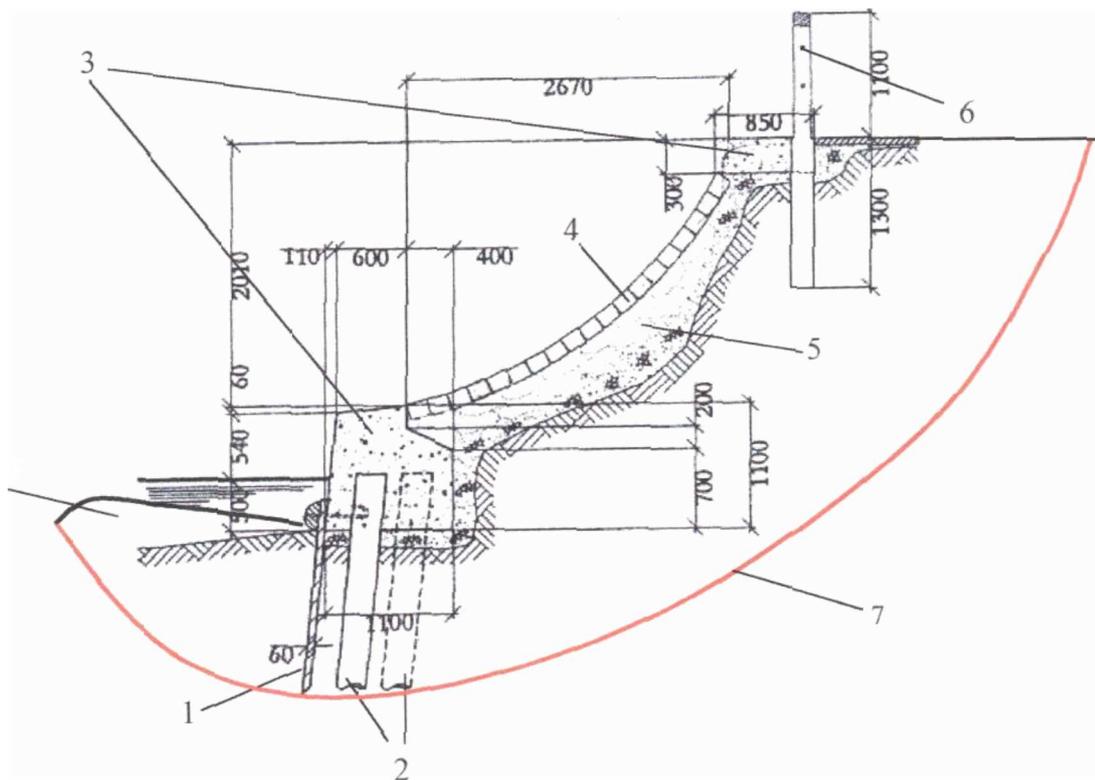


Рис. 1. Конструкция набережной Петровского стадиона: 1 – деревянный шпунт; 2 – деревянные сваи (2 ряда); 3 – бетонная (нижняя) и гранитная (верхняя) части банкета; 4 – диабазовое мощение на цементном растворе; 5 – каменная наброска под диабазовое мощение; 6 – набережная и ее ограждение; 7 – поверхность скольжения в откосе набережной; 8 – вал выпирания.

Проведенная специальная съемка состояния набережной и прилегающей к ней территории дала возможность выделить несколько типов характера разрушения ограждающей откосной конструкции.

1. Формирование провалов в нижней части набережной за счет ее проседания и последующего развития

фильтрационной деформации в теле откоса в условиях прогрессирующей коррозии бетона и раствора.

2. Горизонтальные смещения нижней части набережной, которые изменяют проектную конфигурацию кривизны диабазовой кладки, и нарушение ее монолитности при интенсивной дезинтеграции нижней части кладки за счет комплекса механических, химических и биохимических воздействий.

3. Оползневое давление, разрушающее целостность диабазовой кладки, а также способствующее образованию сквозных трещин в нижней бетонной banquetке.

4. Подъем диабазовой кладки в нижней части набережной и бетонного банкета (за счет интенсивного отдавливания пластичных глинистых пород из-под нижнего банкета), что сопровождается разрушением сплошности бетонной плиты и усилением ее трещиноватости. Кроме того, под действием агрессивных коммунально-бытовых стоков наблюдается значительное снижение прочности бетона, что ускоряет разрушение конструкции набережной.

Из изложенного следует, что в рассматриваемом случае необходим не капитальный ремонт набережной, а ее полная реконструкция. Конструкция набережной должна быть выполнена по аналогии с набережными Большой Невы; в качестве фундаментов следует рекомендовать буронабивные сваи, опирающиеся на прочные отложения верхнекотлинских глин венда, которые залегают на глубине 17,0 м. Строительство набережной должно быть реализовано в щадящем режиме, поскольку здание стадиона находится в предаварийном состоянии. Несущие колонны деформируются и растрескиваются, в стенах и потолках развиваются трещины, вызванные прогрессирующей осадкой этого здания.