УДК 624.131.1

Р.Э.ДАШКО, *д-р геол.-минерал. наук, профессор, regda*2002*@mail.ru*
Я.А.КАРПОВА, *аспирантка, y*218*@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

R.E.DASHKO, *Dr. in geol. & min. sc., professor, regda*2002*@mail.ru*
Y.A.KARPOVA, *post-graduate student, y*218*@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ ПРИМОРСКОГО РАЙОНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА В СВЯЗИ С ПЕРСПЕКТИВАМИ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

Проведен анализ инженерно-геологических условий Приморского района Санкт-Петербурга в связи с перспективами освоения территории до 2025 г. Охарактеризованы структурно-тектонические условия района. Приведены результаты микробиологического анализа грунтов в разрезе Юнтоловского заказника. Выполнены исследования микрофлоры торфов в районе Лахтинского болота. Дан анализ основных инженерно-геологических проблем, связанных с микробной деятельностью. Рассмотрены основные природные и техногенные источники контаминации подземных вод и грунтов, а также рекомендованы мероприятия, обеспечивающие длительную устойчивость сооружений различного назначения.

***Ключевые слова*:** Приморский район, инженерно-геологические условия, погребенные долины, эрозионный врез, подземное пространство, Юнтоловский заказник, Лахтинское болото, микробиота, контаминация, плывуны, тиксотропность, биохимическое газообразование, биокоррозия.

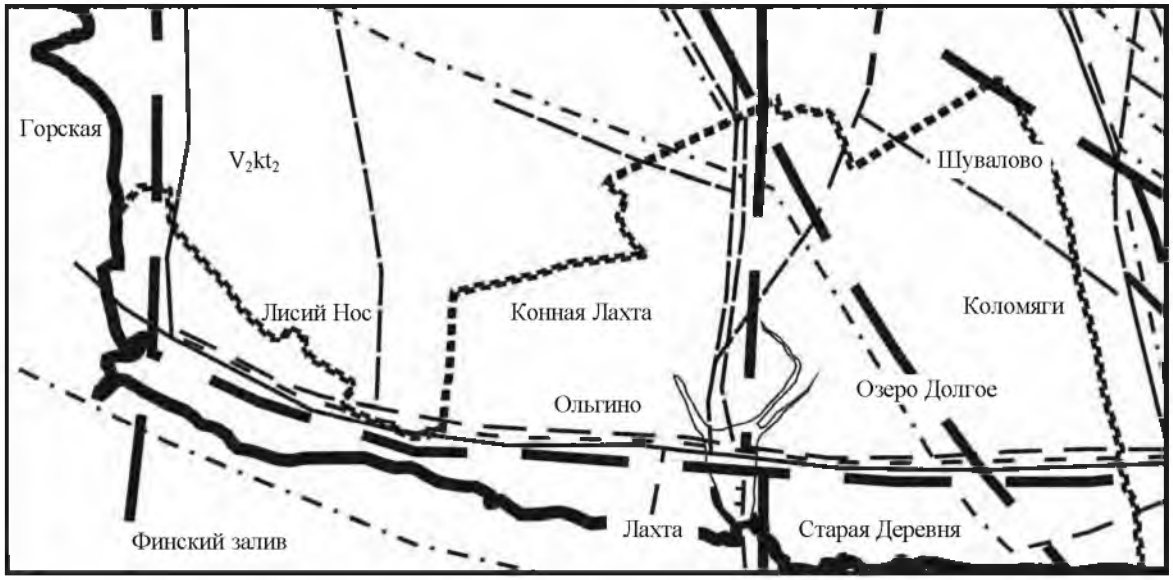
PROBLEMS OF ENGINEERING GEOLOGY OF PRIMORSKIY DISTRICT OF SAINT PETERSBURG ASSOCIATED WITH THE PROSPECTS OF ITS UNDERGROUND SPACE DEVELOPMENT

The analysis of engineering and geological conditions of Primorskiy district of Saint Petersburg associated with the prospects of its areas development up to the year 2025. Its structural and tectonic conditions are represented. Results of microbiological analysis of soils from the section of Juntolovskiy reserve are given. The research of microbial flora of Lakchtinskoye swamp peats are carried out. The analysis of basic engineering and geological problems related with microbial activity is given. The main natural and technogenic sources of underground water and soils contamination are considered, and also some measures that provide long-term competence of constructions of different appointment are recommended.

***Key words*:** the Primorskiy district, engineering and geological conditions, buried valleys, erosion trench cut, underground space, The Juntolovskiy reserve, The Lakchtinskoye swamp, microbiota, contamination, quicksand, thixotropy, biochemical gasification, biological corrosion.

В настоящее время Приморский район, расположенный в северо-западной части Санкт-Петербурга, считается одним из самых крупных, наиболее перспективных и динамично развивающихся районов города.

Согласно административно-территориальному делению южная часть Приморского района проходит по береговой линии Невской губы Финского залива, западная – граничит с Курортным районом, на восто-



Условные обозначения:

Административная граница Приморского района

Оси региональных зон разломов, проявленных в кристаллическом фундаменте

Активные разломы, проявленные в отложениях платформенного чехла: установленные (а) и предполагаемые (б)

Геодинамически активные разломы, нашедшие свое отражение в четвертичных отложениях

Тальвеги палеодолин в рельефе предчетвертичной поверхности: глубиной более 50 м (а) и менее 50 м (б)

Уступы в рельефе предчетвертичной поверхности

Рис.1. Фрагмент геолого-структурной карты А.Н.Шабарова и Е.К.Мельникова (2004 г.) с указанием границ Приморского района

ке с Выборгским и на севере с Ленинградской областью.

В соответствии с Генеральным планом развития Санкт-Петербурга до 2025 г. в пределах рассматриваемого района планируется строительство трех веток метрополитена, две из которых являются продолжением 5-й и 2-й линий, а третья – новая трасса, которая будет проходить вдоль западного побережья Лахтинского разлива. Кроме того, проводятся изыскания для возведения уникального здания – Лахта-Центр. Небоскреб планируется построить высотой до полукилометра на западном берегу Лахтинского разлива Невской губы. В XXI в. на территории района для обеспечения внешнего водоотведения северных районов города начато строительство канализационных коллекторов средней глубины заложения.

Планирование и строительство объектов при обязательном освоении и использовании подземного пространства района требует нетрадиционного подхода к анализу и оценке его инженерно-геологических условий, которые характеризуются как весьма сложные, что определяется следующими позициями.

Расположение города в зоне сочленения двух крупных структур Балтийского щита и Русской плиты определяет особенности его геологического разреза, в том числе структурно-тектонических условий [2]. В пределах Приморского района прослеживаются региональные тектонические разломы северо-западного, субширотного и субмеридианального простирания (рис.1). В зонах таких разломов отмечается повышение степени трещиноватости коренных отложений осадочной толщи: верхнекотлинских глин верхнего венда, а также нижнекотлинских песчаников. Максимальная степень их дезинтегрированности фиксируется в тектонических узлах. К субширотному региональному тектоническому разлому приуро-

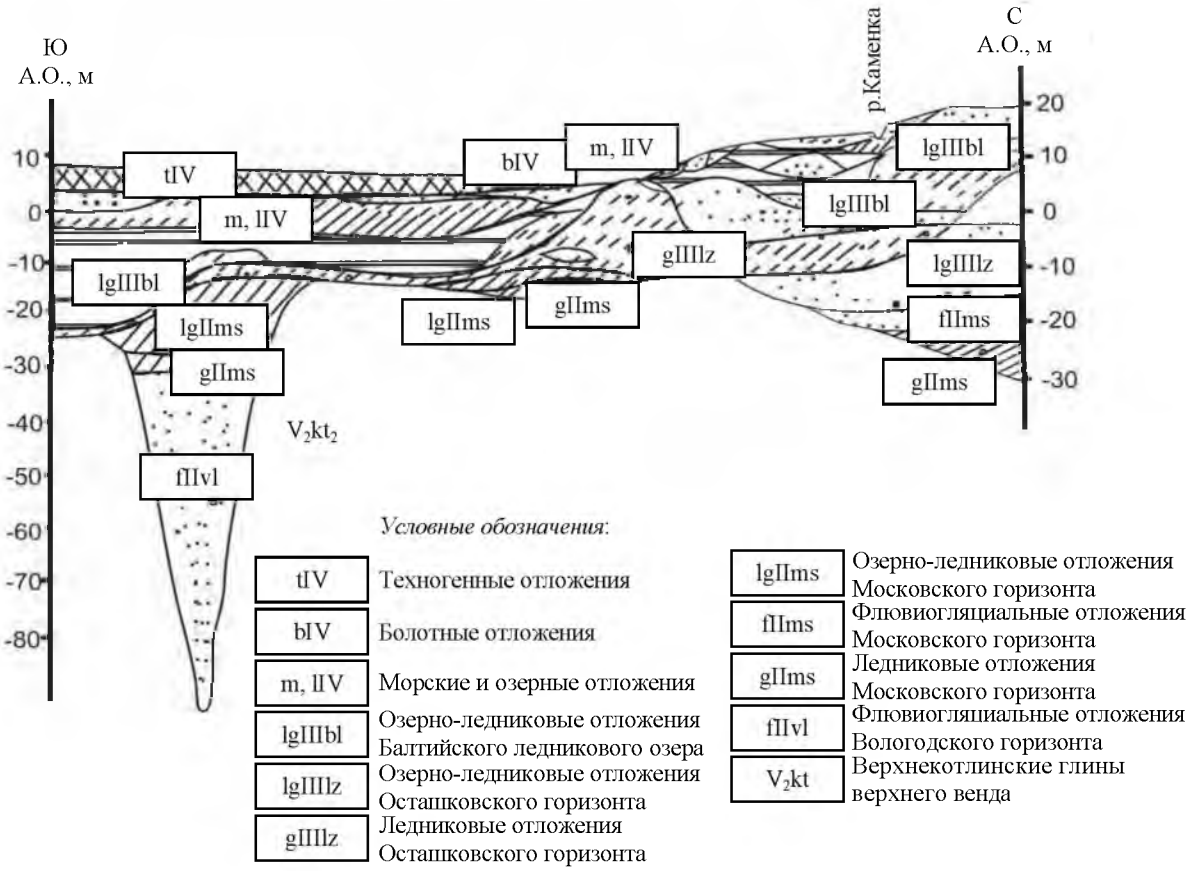


Рис.2. Схематический субмеридианальный геолого-литологический разрез четвертичных отложений Приморского района Санкт-Петербурга

чена самая глубокая погребенная долина в Санкт-Петербурге (эрозионный врез в коренные глины превышает 90 м), которая протягивается от пл. Мужества до поселка Лисий Нос и далее в западном направлении.

Глубина эрозионного вреза погребенной долины в водоупорную толщу верхнекотлинских глин варьирует в широких пределах – от 25 до 90 м, что предопределяет остаточную мощность глин верхнего венда до кровли нижнекотлинского высоконапорного водоносного горизонта и, соответственно, характеризует интенсивность восходящего перетекания минерализованных хлоридно-натриевых вод, которые агрессивны по отношению к бетону и железобетону. Воды вендского водоносного комплекса характеризуются следующими показателями (по данным ФГУП «Севзапгеология»), г/дм^3: $K^+ + Na^+$ – 1,29; Ca^{2+} – 0,137; Mg^{2+} – 0,078; Cl^- – 2,200; SO_4^{2-} – 0,027; HCO_3^- – 0,130; минерализация – 3,76. Жесткость общая – 13,2 мг-экв/м^3.

Кроме того, глубина вреза палеодолины обуславливает мощность четвертичной толщи (рис.2), служащей средой для размещения канализационных коллекторов средней глубины заложения, а также основанием наземных сооружений различного назначения.

Важно отметить, что в пределах Приморского района расположен действующий Юнтоловский региональный комплексный заказник площадью 8,86 км^2. В состав заказника входит Лахтинское болото, оказывающее существенное влияние на состав, состояние и свойства подстилающих пород, обогащая их органическими соединениями абиогенного и биогенного генезиса при нисходящей и латеральной фильтрации подземных вод. В результате этого в подземном пространстве формируется анаэробная среда,

величина окислительно-восстановительного потенциала которой может снижаться до –100 мВ и менее. Живые и мертвые клетки, а также продукты метаболизма микроорганизмов, переносимые в потоке подземными водами, адсорбируются на поверхности твердых минеральных частиц подстилающих грунтов, образуя биопленки, а также заполняют поровое пространство, что, в свою очередь, способствует значительному снижению коэффициентов фильтрации песчаных отложений и их переходу в разряд плывунов, а глинистые отложения – в квазипластичные разности ($\varphi < 5°$) с проявлением в них тиксотропных явлений [2].

Исследования в четвертичных отложениях и в верхнекотлинских глинах верхнего венда по глубине разреза, проведенные в районе северной границы Юнтоловского заказника, позволили установить высокое содержание микробной массы (ММ) в грунтах, величина которой устанавливается по содержанию микробного белка живых и мертвых клеток микроорганизмов и продуктов метаболизма с использованием метода М.Бредфорда (табл.1).

В пределах Приморского района впервые были проведены исследования микрофлоры торфов, в соответствии с которыми по глубине скважины происходит снижение численности аэробных микроорганизмов и возрастает содержание анаэробных форм (табл.2). На глубине 16 м наблюдается резкий скачок численности микромицетов, что связано с распределением кислорода в поровой воде дисперсных отложений в зависимости от содержания глинистой фракции.

На территории Приморского района расположено большое количество свалок различного состава, влияние которых прослеживается на глубину до 50-70 м, формируя анаэробную обстановку, что также отражается на свойствах грунтов и компонентном составе воды (табл.3). Так, например, согласно выполненным исследованиям химического состава грунтовых вод в различных зонах Приморского района, установлено, что наибольшее содержание загрязняющих компонентов в водоносном горизонте зафиксировано на территориях, примыкающих к промышленным зонам. Для них характерны высокие значения иона хлора, сульфат-иона и иона аммония, а также перманганатной окисляемости. В грунтовых водах лесопарковой зоны отмечается повышенное содержание аммония (скв.486), что может быть связано с поступлением жидкой фазы несанкционированной свалки.

Создание анаэробной обстановки в подземном пространстве за счет природных и техногенных источников поступления органических соединений способствует процессу биохимического газообразования малорастворимых газов – метана. Накопление в дисперсных грунтах малорастворимых газов приводит к появлению газодинамического давления, что вызывает разуплотнение песчано-глинистых отложений, способствуя переходу песков в состояние плывунов, а в глинистых разностях – их значительному разуплотнению, снижению прочности, возрастанию тиксотропных явлений.

Кроме того, биохимическая генерация растворимых в воде газов – диоксида углерода и сероводорода – повышает агрессивность подземных вод по отношению к конструкционным материалам сооружений различного назначения, что значительно снижает их эксплуатационный ресурс [1].

Анализ проведенных инженерно-геологических исследований территории Приморского района показал, что район характеризуется сложными инженерно-геологическими и геоэкологическими условиями, что определяется наличием разломов и погребенных долин, слабых четвертичных отложений, высокой микробной пораженностью, контаминацией подземной среды, развитием плывунов, тиксотропных грунтов, биохимической газогенерации, биокоррозии и др.

Освоение и использование подземного пространства в таких условиях должно сопро-

Таблица 1

Характеристика микробной массы в разрезе грунтов Юнтоловского заказника

Грунт	Возраст	Генезис	Глубина, м	Скв.38	Скв.39	Скв.40	Скв.41
				Содержание микробной массы, мкг/г			
Торф	Четвертичный	bIV	0,9-1,0	412,95	379,15	425,28	400,10
Суглинок легкий пылеватый		lIV	2,5-2,5	–	–	–	129,64
»			4,0-4,2	232,44	214,20	140,00	54,19
Глина легкая пылеватая			6,0-6,2	152,68	–	298,89	–
Супесь		lgIII	8,0-8,2	220,07	74,93	–	199,11
Глина легкая пылеватая			10,0-10,2	103,84	–	254,21	–
»			12,0-12,2	359,74	–	200,11	129,52
»			14,0-14,2	61,61	110,94	–	–
»			16,0-16,2	201,20	302,93	301,19	98,27
Супесь		gIII	18,0-18,2	68,39	–	199,15	255,22
Супесь			20,0-20,2	253,87	–	–	187,96
Глина легкая пылеватая	Дочетвертичный	V_2kt_2	22,0-22,2	185,49	31,55	–	–
»			26,0-26,2	131,95	70,82	–	121,28
»			28,0-28,2	135,70	253,63	–	–
»			30,0-30,2	–	49,41	–	302,12
»			32,0-32,2	258,52	24,32	–	–

Примечание. Фоновые значения микробной массы, характерные для незагрязненных территорий, составляют, мкг/г: для озерно-ледниковых отложений < 20-25, моренных отложений < 15, коренных глин ≤ 10.

Таблица 2

Микробиологический анализ проб грунта из скважины на границе Юнтоловского заказника

Глубина отбора	Описание и номер пробы	Виды микромицетов	КОЕ микромицетов в 1 г грунта	ОМЧ бактерий в 1 г грунта	
				Факультативы	Анаэробы
0,9-1,0	Торф среднеразложившийся	*Mucor racemosus* *Mucor plumbeus* *Trichoderma viride*	600	$4{,}0\cdot10^6$	$3{,}4\cdot10^5$
4,0-4,1	Суглинок светло-коричневый легкий пылеватый с прослойками песка пылеватого, текучий	*Trichoderma viride* *Penicillium brevicompactum*	350	$2{,}5\cdot10^6$	$1{,}0\cdot10^6$
10,0-10,2	То же	*Alternaria alternata* *Trichoderma viride* *Penicillium herqueri*	300	$2{,}5\cdot10^6$	$1{,}5\cdot10^6$
15,0-15,2	То же	*Cladosporium cladosporioides*	200	$1{,}6\cdot10^5$	$2{,}0\cdot10^6$
16,1-16,2	Супесь светло-коричневая легкая пылеватая с включениями гальки гравия до 15 %, твердая	*Trichoderma viride* *Penicillium brevicompactum* *Mucor plumbeus*	700	$8{,}0\cdot10^4$	$4{,}0\cdot10^6$
20,0-20,2	То же	*Rhizopus stolonifer* *Penicillium herqueri* *Scytalidium lignicola* *Chaetomium globosum*	600	$4{,}5\cdot10^4$	$2{,}0\cdot10^6$

Примечание. КОЕ – колонеобразующая единица, ОМЧ – общее микробное число.

Таблица 3

Содержание основных компонентов в грунтовых водах по трассе ТКК (данные ООО «СУ № 299», 2000-2006 гг.)

Элементы анализа	Лесопарковая зона				Неосвоенная территория вблизи свалки	Строительная площадка	Промзона
	Скв. 425	Скв. 450	Скв. 485	Скв. 486	Скв. 488	Скв. 449	Скв. 440
Ca^{2+}, мг/дм^3	12,0	10,0	4,0	18,0	32,0	34,0	240,0
Mg^{2+}, мг/дм^3	4,9	7,3	8,5	17,0	3,6	40,1	38,9
Na^{+}+K^{+}, мг/дм^3	66,0	34,5	45,9	59,3	173,0	199,5	410,2
SO_4^{2-}, мг/дм^3	80,2	18,1	38,3	52,7	212,3	239,1	672,4
Cl^{-}, мг/дм^3	14,2	21,3	28,4	28,4	14,2	56,7	326,2
HCO_3^{-}, мг/дм^3	109,8	128,1	79,3	189,1	231,8	536,8	646,6
NO_3^{-}, мг/дм^3	1,12	5,77	7,46	1,12	8,73	8,73	12,80
NO_2^{-}, мг/дм^3	0,24	0,00	0,12	0,26	0,45	0,00	0,00
NH_4^{+}, мг/дм^3	2,1	3,45	37,0	1,33	54,0	25,9	10,92
Fe^{2+} + Fe^{3+}, мг/дм^3	6,8	10,5	5,3	1,9	5,6	11,3	10,2
Минерализация, мг/дм^3	248,0	184,0	176,0	264,0	1196,0	1002,0	3694,0
Общая жесткость, мг-экв/дм^3	1,0	1,1	0,9	2,3	1,9	5,0	15,2
Окисляемость, мгO_2/дм^3 (перм.)	9,70	32,0	38,0	7,2	121,21	38,4	412,0
CO_2 агрес., мг/дм^3	0,0	11,0	33,0	15,4	0,0	4,4.	22,0
pH	6,52	5,77	5,30	6,34	8,62	6,65	6,63

вождаться использованием комплексных методов исследований, включающих не только традиционные инженерно-геологические подходы в оценке инженерно-геологических условий, но также широким спектром исследований контаминации грунтов и подземных вод за счет природных и техногенных источников, применением положений подземной микробиологии.

Особое внимание следует уделить технологиям проходки подземных сооружений в квазипластичных грунтах и обоснованию выбора конструкционных материалов в условиях развития биокоррозии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геология СССР. Т.1. Ленинградская, Псковская и Новгородская области. Геологическое описание. Северо-Западное территориальное геологическое управление. М., 1971. 504 с.

2. *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.

3. Микробная коррозия и ее возбудители / Е.И.Андрейюк, В.И.Билай, Э.З.Коваль, И.А.Козлова. Киев, 1980. 288 с.

REFERENCES

1. The geology ov USSR. Vol. 1. The Leningrad, the Pskov and the Novgorod regions. Geological description. The North-West Areal Geological Survey. Moscow, 1971. 504 p.

2. *Dashko R.E.* Microbiota of geological environment: its role and consequences // The Segeyevskiye Readings. The materials of annual session of RAS Research Council about the problems of, environmental geology, engineering geology and hydrogeology (the 23rd-25th of March, 2000). Moscow, 2000. P.17-25.

3. *Andejuk E.I., Bilai V.I., Koval E.Z., Kozlova I.A.* Microbial corrosion and its excitants. Kiev, 1980. 288 p.