УДК 624.131:551.3

Е.Ю.ШАТСКАЯ
Геолого-разведочный факультет,
группа РГОм-01, *ассистент профессора*

ВЛИЯНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РАЗВИТИЕ ДЕФОРМАЦИЙ И РАЗРУШЕНИЕ ОБДЕЛОК ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Особое внимание в работе обращено на воздействие напорных вод нижнекотлинского водоносного горизонта, создающего благоприятные условия для развития микробиоты и ее агрессивного воздействия на конструкционные материалы. На основании проведенных обследований в подземных выработках выполнена систематизация основных форм разрушения. Исследован состав водных вытяжек, приготовленных из разрушенных бетонов и различных форм новообразований. По результатам экспериментальных исследований сделан вывод о роли биокоррозии в разрушении тюбингов и гидроизоляционной рубашки.

The paper dwells on the influence of confined waters of the Nizhnekotlinsk aquifer, creating favorable conditions for microbiota development and its aggressive impact on construction materials. The main destruction forms have been classified basing on the research carried out in underground workings. Composition of water extracts prepared from destroyed concrete and various types of new growth have been investigated. A conclusion is drawn about the role of biocorrosion in destruction of tubing and a damp-proof lining based on the results of experimental research.

Подземное пространство городов представляет сложную компонентную систему: породы, подземные воды, микробиота, газовая составляющая, сооружения. Взаимодействие компонентов между собой определяет изменение напряженно-деформированного состояния пород, физико-химических условий за счет загрязнения органическими и неорганическими поллютантами биогенного и абиогенного генезиса, развитие и активизацию процессов, в том числе газодинамических явлений и биокоррозии. Подобное преобразование формирует определенную специфику подземной среды, в которой функционируют подземные сооружения, что приводит к развитию деформаций тоннелей и разрушению несущих обделок.

Перегонный тоннель «Василеостровская-Гостиный двор» введен в эксплуатацию в ноябре 1967 г, т.е. почти 40 лет назад. Трасса тоннеля проложена под глубокой погребенной долиной Пра-Невы в коренных породах верхнего венда. Глубина и положение тальвега долины предопределили особенности заложения перегонных тоннелей (см. рисунок). В разрезе дочетвертичного осадочного чехла центральной части Санкт-Петербурга выделяют водоносные песчаники (V_2kt_1) – нижнекотлинский горизонт напорных вод, сменяемых вверх по разрезу толщей переслаивания песчаников и плотных глин. Завершает разрез верхнего венда мощная толща глин верхнекотлинского горизонта (V_2kt_2), в которых и проходят тоннели перегона «Василеостровская-Гостиный двор». Верхнекотлинские глины характеризуются как трещиновато-блочная среда, в верхней части разреза прослеживается наиболее высокая степень трещиноватости, что существенно снижает показатели деформационных свойств и прочности. В зоне тальвега погребенной долины подошва тоннелей располагается вблизи кровли нижнекотлинского водоносного горизонта. Минимальная мощность целика между подошвой тоннелей и кровлей водоносного горизонта в пределах рассматриваемого перегона не превышает 10 м. Специфика гидрохимической

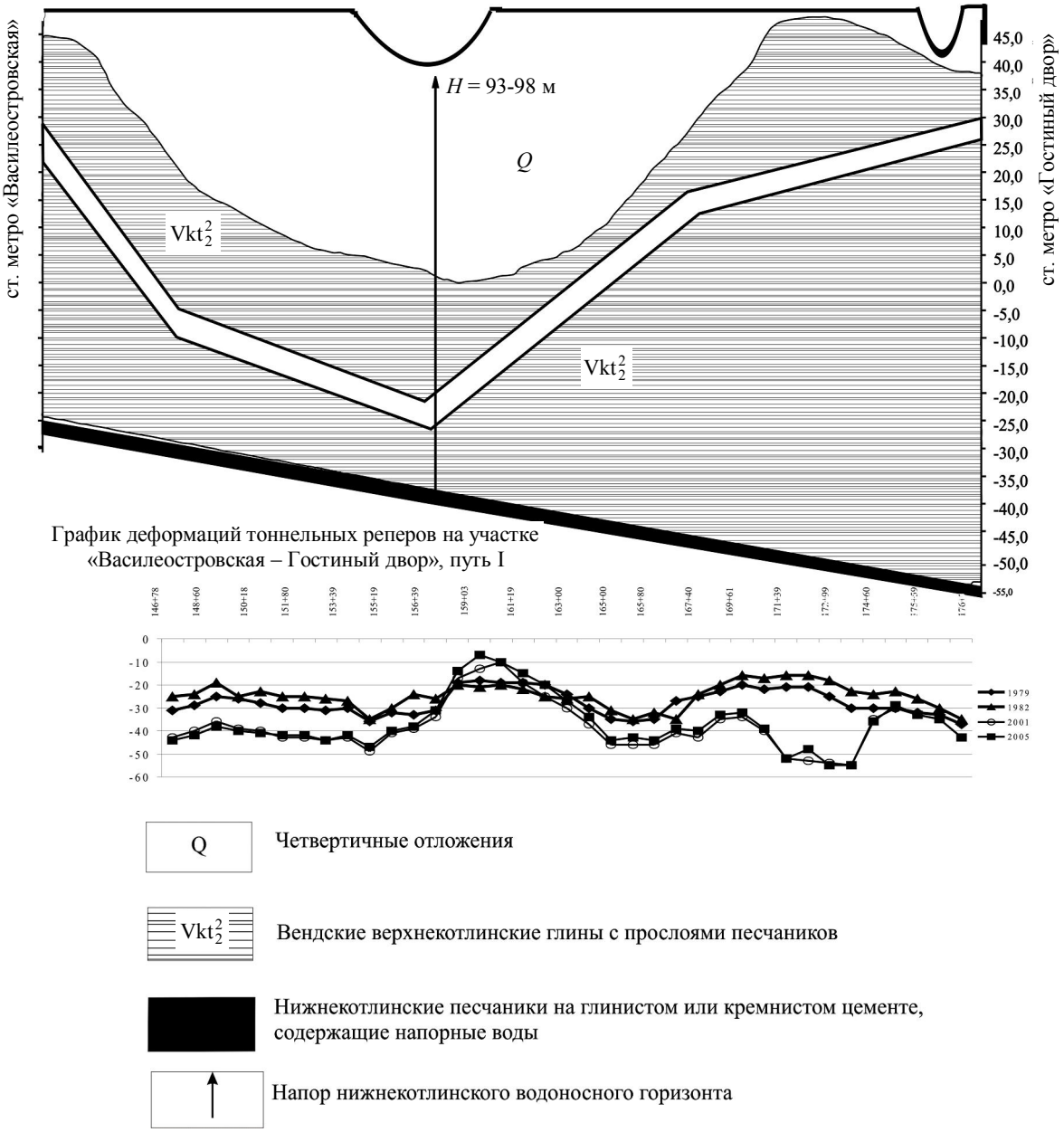


График деформаций тоннельных реперов на участке «Василеостровская – Гостиный двор», путь I

Положение трассы перегонного тоннеля «Василеостровская-Гостиный двор» в разрезе погребенной долины с графиками развития перемещений

и гидродинамической обстановок в нижнекотлинском водоносном горизонте существенно влияет на условия эксплуатации перегонных тоннелей.

Длительная эксплуатация нижнекотлинского водоносного горизонта для технических и в меньшей степени бальнеологических целей, продолжавшаяся до середины 70-х гг. XX в., привела к понижению пьезометрической поверхности нижнекотлинского водоносного горизонта, при этом отмечалась нисходящая фильтрация загрязненных грунтовых вод в нижележащие горизонты. В настоящее время наблюдается повышение пьезометрической поверхности описываемого водоносного горизонта со скоростью 1,5-2 м/год. Действующий напор составляет 93-98 м (см. рисунок) и определяет интенсивность разгрузки хлоридных натриевых вод с минерализацией 3-5 г/л в тоннели через дефекты в тюбингах и гидроизолирующий слой, привнося активную микробиоту.

Результаты исследований химического состава водных вытяжек из разрушенных строительных материалов и новообразований на тюбингах в перегонных тоннелях по трассе «Василеостровская – Гостиный двор». Тоннель № 1

Место отбора проб, пикеты	Краткая характеристика проб	Катионы, мг/дм³					Анионы, мг/дм³							Азот аммонийный, мг/дм³	Сухой остаток, мг/дм³	Окисляемость, мгO₂/дм³		БПК₅, мгO₂/дм³	Жесткость, моль/дм³	pH
		$Na^+ + K^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	Fe общее	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	NO_2^-	NO_3^-	$HSiO_3^-$	OH^-			перманганатная	бихроматная, ХПК			
158+18	Нарост черного цвета на железобетоне	2411,5	150,7	22,9	0,01	0,67	3474,1	141	636	1	14,6	38	<1	12,4	6851,4	2994,9	4608,4	2082,5	9,4	8,3
173+28 175+39 175+61	Сталактиты с ребра жесткости	4354	7,7	1,4	0,42	0,34	5672	619,1	682	318,7	3,5	1	<1	1,9	77454	3049,8	3971,9	2548,1	0,5	9,9
161+29	Коррозия чугуна в виде расслоения	5174	217,9	44,1	0,01	0,15	9217	116,5	45,5	5,3	1,8	1	<1	11,4	15335	934,9	1806,8	716,4	14,5	8,8
158+30 159+15	Коррозия бетонных тюбингов	2751,1	647,2	69,3	0,21	0,081	5398,4	15,3	113,6	93,3	12,8	10,9	<1	5,3	9117,5	32,3	92,5	21,4	38	11,1
175+54	Высолы за счет просачивания из болтового соединения	5976	172,8	35,1	0,01	0,2	7799	1961,6	313,6	749,5	18,4	0,16	<1	12	16385	348,9	863,3	223,4	11,5	9,7

По исследованной трассе проводился анализ особенностей перемещения тоннеля по результатам реперных наблюдений, которые позволили оценить общую тенденцию и характер развития деформаций подземных конструкций во времени. По трассе фиксируются только перемещения оседания различной интенсивности, которая может быть увязана с особенностями геолого-структурного строения, инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, существующими по трассе.

Характер перемещений по трассе будет определяться результирующей от действия следующих составляющих:

$$\Delta P = P_{\text{т}} + P_{\text{пр}} - P_{\Delta H},$$

где $P_{\text{т}}$ – давление, создаваемое тоннельной конструкцией; $P_{\text{пр}}$ – давление столба пород (природное давление над кровлей тоннеля); $P_{\Delta H}$ – противодавление, создаваемое напорным нижнекотлинским горизонтом, пьезометрический уровень которого постепенно растет по времени на территории всего города.

На основе анализа зафиксированных перемещений тоннеля, выделены три зоны (см. рисунок). Первая и третья – находятся под склоновой частью погребенной долины и имеют незначительное варьирование перемещений оседания вдоль участка трассы с относительными деформациями, близкими к нулю.

Вторая зона располагается под тальвеговой частью погребенной долины и имеет иной характер вертикальных перемещений. Наблюдается резкое снижение деформаций опускания, что связано с взвешивающим действием напорных вод нижнекотлинского водоносного горизонта.

Обследование трассы тоннеля метрополитена показало, что в тоннеле происходит коррозионное разрушение материала железобетонных тюбингов, отмечается расслаивание чугунной обделки, образование слизи на тюбингах, а также выщелачивание тампонажного раствора гидроизоляционной рубашки по стыкам между тюбингами, высачивание и капеж подземных вод через тело тюбингов по болтовым соединениям, сопровождающиеся образованием высолов и натечных форм – сталактитов. В процессе обследования тоннеля были отобраны пробы разрушенных материалов и различных новообразований для последующего анализа и оценки природы и механизма разрушения конструкционных материалов. Этот момент имеет принципиальное значение, поскольку раскрытие сути процесса деградации материалов позволяет определить основные направления мероприятий по защите подземных конструкций.

Водные вытяжки, приготовленные из разрушенных бетонов, характеризуются невысокими значениями содержания органических соединений по сравнению с водными вытяжками из чугуна, которые обладают аномально высокими значениями содержания органических соединений (см.таблицу). В то же время в водных вытяжках из расслоенного чугуна и корродированного бетона наблюдаются значительные концентрации хлоридов щелочных и щелочноземельных металлов. Присутствие алюминия (до 3,9 мг/дм^3) свидетельствует о разрушении алюмосиликатов кальция и магния, содержание сульфатов говорит о разрушении гидросульфоалюмината кальция как компонента тампонажного раствора. Повышенные значения соединений азота и, прежде всего, нитратов обязано действию нитрифицирующих бактерий. При рассмотрении водных вытяжек из новообразований отмечается высокое содержание хлоридных натриевых соединений, среди анионов второе место по количественному содержанию после хлоридов занимают сульфаты, третье – гидрокарбонаты и затем карбонаты. Анализ состава сталактитов дает возможность утверждать, что их формирование связано с химическим воздействием высокоминерализованного нижнекотлинского водоносного горизонта и активно протекающими биохимическими процессами.

Помимо проведения химического анализа водных вытяжек разрушенных материалов, был проведен микологический и бактериологический анализы с определением качественного и количественного состава микробных сообществ, который показал,

что максимальная численность микроорганизмов наблюдается в местах разгрузки подземных вод в тоннель при наличии пакли, как дополнительного питательного субстрата для целлюлозоразлагающих бактерий в условиях максимального увлажнения. Среди определяемых видов и групп микроорганизмов наибольшая численность характерна для нитрифицирующих, тионовых и железобактерий, играющих ведущую роль в деструкции бетонных и металлических конструкций.

Следовательно, ремонтные работы в тоннелях должны проводиться с учетом биогенной пораженности конструкционных материалов. Поврежденные поверхности необходимо обрабатывать биоцидными растворами с предварительным высушиванием поверхности при температурах свыше 60 °С. Необходима разработка принципиально новых материалов, устойчивых в биокоррозионной среде, которые будут применяться для гидроизоляционных работ и изготовления тюбингов.

Научный руководитель д.г.-м.н. проф. *Р.Э.Дашко*