

Д.Ю.ВЛАСОВ, *д-р биол. наук, доцент, Dmitry.Vlasov@mail.ru*

Санкт-Петербургский государственный университет

А.В.ШИДЛОВСКАЯ, *канд. геол.-минерал. наук, доцент, shidanna@bk.ru*

О.Ю.АЛЕКСАНДРОВА, *канд. геол.-минерал. наук, ассистент, alexolga@mail.ru*

Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

D.Yu.VLASOV, *Dr. biol. sc., associate professor, Dmitry.Vlasov@mail.ru*

Saint Petersburg State University

A.V.SHIDLOVSKAIA, *PhD in geol. & min. sc., associate professor, shidanna@bk.ru*

O.Yu.ALEXANDROVA, *PhD in geol. & min. sc., assistant lecturer, alexolga@mail.ru*

Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

ВОЗДЕЙСТВИЕ ГЕОБИОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА РАЗВИТИЕ КОРРОЗИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЭСКАЛАТОРНОМ ТОННЕЛЕ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Рассматриваются геобиологические и гидрогеохимические процессы в подземном пространстве Санкт-Петербурга и их роль в активизации коррозии конструкционных материалов эскалаторных тоннелей метрополитена. Особое внимание обращается на неблагоприятную экологическую обстановку, которая связана с загрязнением органическими и неорганическими соединениями, микробиотой, нефтепродуктами, поступающими из несовершенной канализационной системы, а также из зон длительно существующих кладбищ. Полученные данные свидетельствуют о биологическом поражении и разрушении чугунов и бетонов обделки тоннелей за счет деструктивной деятельности микроорганизмов.

Ключевые слова: загрязнение подземного пространства, грунты, подземные воды, микробиота, эскалаторный тоннель, биокоррозия конструкционных материалов.

GEOBIOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL IMPACT ON UNDERGROUND ESCALATOR TUNNEL CONSTRUCTIONS DETERMINING INTENSIFICATION OF CORROSION MATERIAL PROCESSES IN SAINT PETERSBURG

This paper discusses the geobiological and hydrogeochemical processes in St.-Petersburg underground space and their role in corrosion of escalator constructional materials. The special attention were attracted to the ecological conditions which are connected with organic, inorganic contaminants and microbiota transporting to soils and groundwater from leaking sewer system and also from zones of long existing cemeteries. A detailed study and numerical analyses of escalator tunnel constructional materials were carried out to reveal biological defeat and destruction of concrete and grey iron as a result of microbiota destructive activity.

Key words: contamination of underground space, soils, underground water, microbiota, escalator tunnel, biocorrosion of constructional materials.

Эскалаторный тоннель расположен в пределах исторического центра Санкт-Петербурга в юго-восточной части Безымянного о-ва и непосредственной близости к комплексу сооружений Александровской Лавры. Тоннель, соединяющий под углом 30° станцию метрополитена глубокого заложения с наземным вестибюлем, состоит из 107 колец чугунных тубингов диаметром 7-7,5 м. В эскалаторном тоннеле размещаются три эскалаторные машины, а также бетонные фундаменты под фермы средней части эскалатора. По оси наклонного тоннеля под центральным эскалатором находится кабельный канал высотой 1,75 м с перекрытием в виде сборных железобетонных плит, по дну которого ведет бетонная лестница. У стен наклонного тоннеля и по дну кабельного канала установлены дренажные лотки из бетона.

Эскалаторный тоннель начал работать в 1967 г. и на протяжении всего периода эксплуатировался без капитального ремонта.

Выявленные в результате обследования в 2005 и 2009 гг. разрушения обделки и интенсификация водопроявлений свидетельствуют о проницаемости конструкции наклонного тоннеля. Характер разрушений обделок и новообразований тоннеля указывает на интенсивность и длительность протекания процессов коррозии чугунных тубингов и бетонных конструкций. Разрушение и вынос тампонажных цементов за счет разгружающихся в тоннель подземных вод сопровождается образованием сталактитов, высолов и других натечных форм (рис.1-3).

На участках с повышенной коррозией тубингов отмечается интенсивное отслоение чугуна в поперечных и продольных ребрах жесткости, а также в спинке тубингов. Мощность такого отслоения колеблется от 0,5 до 1,5 см, при этом достигая 30 % от общей толщины несущих элементов тубинга (рис.4). Течи и капез воды наблюдаются между кольцами обделки, из тампонажных отверстий и болтовых соединений конструкции.

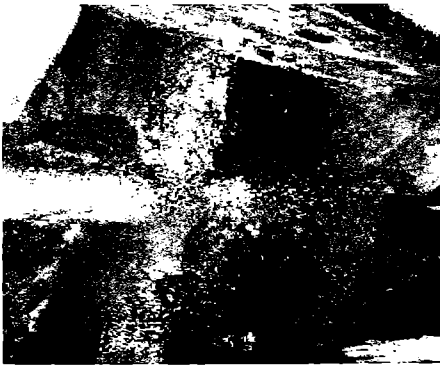


Рис.1. Наросты и выносы с ржавым мокрым налетом

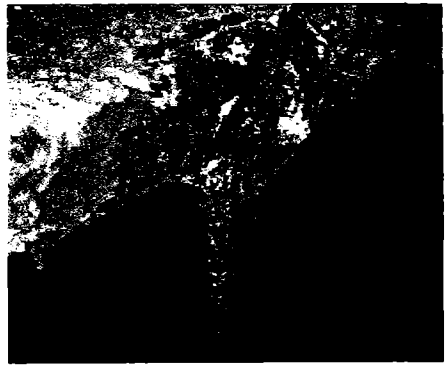


Рис.2. Сталактит на ребре жесткости

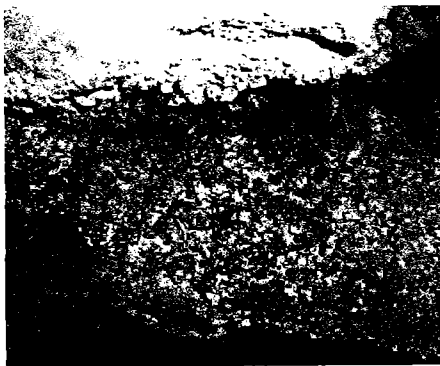


Рис.3. Формирование почкообразных наростов



Рис.4. Графитизация и расслоение чугуна

При рассмотрении причин развития коррозии конструкционных материалов тоннельной обделки принципиальное значение имеют: особенности разреза вмещающих грунтов, влияние подземных вод, длительность и интенсивность загрязнения грунтов и подземных вод органическими, неорганическими соединениями и микробиотой, а также условия эксплуатации эскалаторного тоннеля.

Наклонный тоннель приурочен к склону погребенной долины Пра-Невы, кровля коренных пород верхнекотлинских глин верхнего венда отмечается на глубине 42 м от поверхности. Рассматриваемый участок находится в области влияния регионального разлома северо-западного направления, с которым связаны не только глубинные эманы газы, в том числе радона, метана, углекислого газа и др., но и повышенная трещиноватость и проницаемость высоколигифицированных глин венда (Р.Э.Дашко, 1995). Зонирование тоннеля по геологическим особенностям позволило выделить следующие участки: I – верхняя часть тоннеля пройдена в зоне влияния генетически слабых морских литориновых песков, супесей с органикой и озерноледниковых ленточных глин общей мощностью 10 м; II – средняя часть тоннеля проходит в суглинках с гравием и галькой лужской и московской морены со спорадическим распространением линз грубообломочного материала, а также в маломощных до 1,0-2,0 м межледниковых микулинских битуминозных суглинках и подстилающем слое до 1,0 м флювиогляциальных гравийно-галечных отложений; III – нижняя часть тоннеля на глубине 70-72 м проложена в коренных верхнекотлинских глинах верхнего венда с прослоями песчаников.

На активизацию коррозионных процессов в эскалаторном тоннеле оказывают влияние подземные воды с определенными особенностями химического состава и гидродинамического режима. К I зоне наклонного тоннеля приурочены грунтовые воды, ко II зоне – напорный межморенный водоносный горизонт флювиогляциальных отложений и к нижней части тоннеля – III зоне – напорные воды в прослоях песчаников

верхнекотлинских глин. Кроме того, нижняя часть тоннеля находится в области возможного восходящего перетекания напорных хлоридных натриевых вод нижнекотлинского водоносного горизонта в условиях повышенной трещиноватости водоупора вендских глин и наблюдающегося восстановления напоров этого горизонта.

Грунтовые воды в районе эскалаторного тоннеля характеризуются пестрым химическим составом, формирование которого связано с их загрязнением за счет утечек стоков из несовершенных канализационных систем неглубокого заложения, а также с существованием трех старинных кладбищ 18 и 19 вв. В среднюю часть тоннеля поступают стоки из регионального канализационного коллектора, который проложен на глубине 25 м (табл.1).

Длительный период функционирования кладбищ (более 300 лет), а также утечки из канализационной системы приводят к накоплению в подземной среде богатой микрофлоры, а также способствуют проникновению органических соединений, прежде всего белков, соединений азота, фосфора на глубину 50-70 м и более. Влияние таких источников загрязнения способствует изменению не только химического состава подземных вод, но и негативной трансформации, снижению прочности и повышению деформируемости песчано-глинистых грунтов. Воды нижнекотлинского водоносного горизонта в Санкт-Петербурге отличаются высокой минерализацией, достигающей 3,8-4,1 г/л (табл.1) и оказывают агрессивное влияние на чугун и бетон тоннельной обделки.

Загрязненные и минерализованные подземные воды в различной степени определяют интенсивность коррозионного разрушения конструкционных материалов наклонного тоннеля: тампонажного раствора, чугуна, бетона. Кроме того, влияние напорных вод межморенного водоносного горизонта и напорных вод в прослоях песчаников толщи вендских глин проявляется в действии противодавления на конструкционные материалы эскалаторного тоннеля. В настоящее время в местах нарушения сплошности обделки наклонного тоннеля наблю-

Химический состав подземных вод в районе прохождения трассы наклонного тоннеля (по данным СПГИ)

Элементы анализа	Размерность	Грунтовые воды	Межморенный водоносный горизонт	Нижнекотлинский водоносный горизонт
Ca ²⁺	мг/л	136-150	15-53	126,3-130,3
Mg ²⁺	мг/л	116,4-159,0	6-21	70,3-73,4
K ⁺ +Na ⁺	мг/л	7,1-393,3	8-378	1244,8-1472,2
NH ₄ ⁺	мг/л	8,4-125,0		
SO ₄ ²⁻	мг/л	176-657	9-123	3,3-7,0
Cl ⁻	мг/л	40-2300	49-420	2274-2440
HCO ₃ ⁻	мг/л	287-1189	46-488	137,2-143,2
Минерализация	мг/л	1800-2700	192-1344	3812,8-4135,3
Жесткость общая	мг-экв/л	19,5-20	Не определен	12,3-12,5
Окисляемость перманганатная	мгО ₂ /л	35,2-144,0	Не определен	Не определен
БПК ₅	мгО ₂ /л	27,2	Не определен	Не определен
ХПК	мгО ₂ /л	310,4	Не определен	Не определен
CO ₂ агрес	мг/л	59,4	Не определен	Не определен
pH [*]	ед. pH	6,9-7,0	Не определен	7,5-7,9
Нефтепродукты	мг/л	0,023	Не определен	Не определен

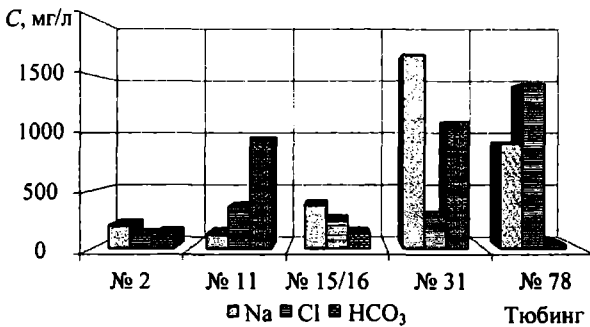


Рис.5. Характер изменения содержания натрия, хлоридов и гидрокарбонатов в водных вытяжках из натечных форм и новообразований

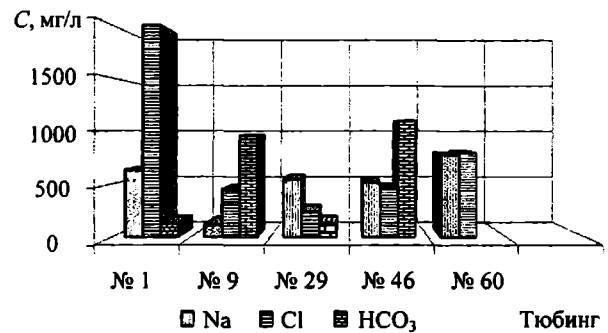


Рис.6. Характер изменения содержания натрия, хлоридов и гидрокарбонатов в водных вытяжках из разрушенного чугуна

дается поступление вод вышерассмотренных водоносных горизонтов в виде капеза, высачиваний с преобладанием течей.

По результатам определения химического состава водных вытяжек, приготовленных из различных разрушенных конструктивных материалов, можно проследить особенности деградации чугунных тюбингов и тампонажного раствора в зависимости от прохождения эскалаторного тоннеля в различных геолого-литологических условиях, влияния водоносных горизонтов, интенсивности повреждения обделок, а также степени загрязнения вмещающей толщи грунтов и подземных вод по глубине.

При анализе химического состава водных вытяжек из натечных форм прослеживается изменение степени разрушения тампонажного

раствора по протяженности наклонного тоннеля. Так, например, преимущественно содовый состав натечных форм определяет активизацию процесса разрушения гидроизоляционного слоя на начальных этапах (рис.5).

Накопление хорошо растворимых солей в чугунных тюбингах происходит при просачивании в тоннель подземных вод, насыщенных продуктами выщелачивания тампонажных растворов (рис.6).

Образование солей хлоридов в нижней части тоннеля связано с подтоком минерализованных вод, в верхнем – с загрязненными грунтовыми водами. Повышенные концентрации кальция и магния в водной вытяжке связаны с их выщелачиванием из тампонажных растворов и аккумуляции их солей в форме высолов и натечных форм.

ХПК, БПК₅, мгО₂/л

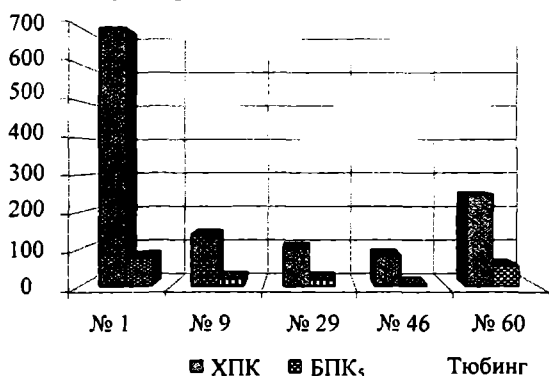


Рис. 7. Характер изменения величины химического потребления кислорода (ХПК) и биохимического потребления кислорода (БПК₅) в водных вытяжках из скородированного чугуна тьюбингов наклонного тоннеля

Интенсивное накопление продуктов выщелачивания и разрушения тьюбингов при отсутствии промывного режима и интенсивной фильтрации подземных вод через конструкции эскалаторного тоннеля приводит к повышенному и аномально высокому содержанию органики, определяемой по величине ХПК и БПК₅ в чугуне и новообразованиях в верхней и нижней части тоннеля (рис. 7).

Невысокие значения ХПК, а также БПК₅ в водных вытяжках из проб конструкционных материалов в пределах наклонного тоннеля могут быть связаны с затуханием активной микробной деятельности за счет окисления органики либо с преобладанием факультативных и анаэробных форм микроорганизмов, учитывая плохую проветриваемость наклонных тоннелей со стороны машинного отделения и соответственно недостаток кислорода. Соответственно могут быть объяснимы пониженные величины БПК₅, которые указывают на потребление кислорода в течение пяти дней аэробными формами микроорганизмов, находящимися в меньшинстве. В случаях, когда наблюдается интенсивное накопление продуктов выщелачивания и разрушения материалов обделок при отсутствии промывного режима и интенсивной фильтрации подземных вод через тело тьюбингов, выявлены повышенные содержания ХПК и БПК₅ в чугуне и новообразованиях.

Результаты проведенных микологических и бактериологических исследований конструкционных материалов тоннеля также подтвердили высокую активность протекания биохимических процессов коррозии наряду с химическим растворением и выщелачиванием компонентов тампонажного раствора и чугуна агрессивными подземными водами. В исследуемых 19 пробах выявлено 54 вида микроорганизмов, из которых более 80 % – биодеструкторы строительных материалов, треть из них известны как особо агрессивные. Бактериологический анализ проб разрушающегося бетона показал, что микробиологический процесс разрушения находится на стадии максимального роста активности биотической компоненты, о чем свидетельствует большое содержание бактерий (свыше 10⁶ КОЕ/г), а также отмечается значительная конкуренция среди микроорганизмов и много угнетенных колоний (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика бактериального сообщества в пробах деградированного чугуна и бетона, отобранных в эскалаторном тоннеле

Материал	Олиготрофы, сапрофиты	Актиномицеты	Тионовые бактерии
Расслоившийся чугун	Более 7,8 × 10 ⁵	8,0 × 10 ⁴	3,0 × 10 ⁵
Деградированный бетон	1,3 × 10 ⁶	1,1 × 10 ⁶	2,1 × 10 ⁵

При этом преобладают тионовые бактерии (свыше 10⁵ КОЕ/г), хемотрофные бактерии, слизиобразующие бациллы (*Bacillus*) и актиномицеты.

Полученные данные указывают на существование сложного агрессивного микробного сообщества, которое оказывает длительное влияние на развитие и активизацию процессов коррозии конструкций наклонного тоннеля.

В процессе эксплуатации строительные конструкции и материалы рассматриваемого тоннеля испытывают не только коррозионное воздействие за счет формирования агрессивных сред, но также динамическое и вибрационное влияние за счет длительной (порядка 20 ч) работы механизмов эскалаторного комплекса, которое усиливает протекание коррозионных процессов.