УДК 624.131:551.3

Е.Ю.ШАТСКАЯ
Аспирантка кафедры гидрогеологии и инженерной геологии

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ КОРРОЗИОННОЙ АГРЕССИВНОСТИ ПОДЗЕМНОЙ СРЕДЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА ПО ОТНОШЕНИЮ К СТРОИТЕЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Рассматриваются основные факторы, формирующие агрессивную коррозию в глубоких подземных тоннелях метрополитена. На основе непосредственных исследований подземных сооружений выполнена систематизация различных форм разрушений. Исследован состав водных вытяжек, приготовленных от разрушенных конструкционных материалов. Рассмотрено количественное и видовое разнообразие микроорганизмов. По результатам экспериментальных исследований сделан вывод о роли биокоррозии в разрушении тоннельных тюбингов и гидроизолирующего материала.

In the paper the basic factors defining formation corrosive aggression in the deep underground tunnel. On the basis of the lead inspections in underground developments is executed the systematization of the basic forms of destruction. The composition of the water extracts prepared from destroyed concrete was investigated. Definitions of number and species of micro-organisms are executed. By results of experimental researches it is drawn a conclusion on a role of biocorrosion in destruction tubing and a waterproofing lining.

Обычно при рассмотрении проблемы коррозионной активности среды по отношению к строительным материалам предполагается, что наибольшая вероятность их разрушения существует в пределах глубин 10-20 м. Поэтому основное внимание всегда уделялось подземным конструкциям наземных зданий (фундаменты и стены подвалов), либо подземным переходам верхних частей эскалаторных тоннелей.

Для разреза подземной среды Санкт-Петербурга характерна определенная специфика его структурно-тектонического строения, геолого-литологических особенностей, гидрогеологических условий, состояния и физико-механических свойств пород, а также экологической обстановки. Каждый из названных факторов играет определенную роль в формировании коррозионной агрессивности подземной среды по отношению к различным строительным материалам, которые применяют в подземных конструкциях зданий и сооружений.

Размещение города в пределах сопряжения двух крупных структур – Балтийского щита и Русской плиты предопределяет особенности проявления тектонического фактора, выражающегося в сложной системе разломов, которая создает блоковое строение кристаллического фундамента и осадочного чехла коренных пород в разрезе подземного пространства города. Активность отдельных тектонических зон подтверждается наличием тепловых аномалий, газовых эманаций радона и других радионуклидов, поступающих из кристаллических пород фундамента в водонасыщенную толщу пород. Радон фиксируется в подземных водах и в приповерхностной части разреза. Эксгаляция радона может способствовать созданию агрессивной подземной среды за счет процесса радиолиза подземных вод, а радиационное облучение ускоряет разрушение бетонов и металлов в подземных сооружениях. Относительно небольшое повышение радиоактивности подземной среды влияет на активизацию деятельности микробиоты, что приводит к развитию процессов биокоррозии.

Анализируя влияние геолого-литологического строения подземного пространства на формирование агрессивности подземной среды, следует подчеркнуть особенности генезиса осадочных отложений, определяющего их вещественный состав. Современные отложения представлены болотами, торфами и заторфованными грунтами озерного и морского генезиса с повышенным содержанием растительной органики. Погребенные болота занимают почти половину территории исторической части города. В XVIII-XIX вв. при строительстве города торф не снимался, а засыпался, как и большие болота. При засыпке торфяно-болотных отложений глинистыми с малой водо- и газопроницаемостью обычно наблюдается формирование в разрезе ниже торфов анаэробных условий, что приводит к активизации электрохимических процессов в черных металлах, интенсификации деятельности анаэробных групп микроорганизмов, в том числе к генерации метана, сероводорода и CO_2, которые вызывают ускоренное разрушение бетонов.

Четвертичные образования на территории Санкт-Петербурга представляют собой обводненные грунты озерно-ледникового, ледникового, морского и озерного происхождения, которые относятся к категории слабых и неустойчивых разностей с высокой чувствительностью к воздействию различных техногенных нагрузок. Особое внимание следует уделить встречающимся в юго-восточной и северной частях города межледниковым микулинским морским отложениям, содержащим 20-25 % битуминозной органики. При вскрытии таких отложений наблюдается выделение метана, азота и диоксида углерода биохимического происхождения. При рассмотрении коренных отложений следует отметить наличие органических остатков в нижнекембрийских глинах (до 4 %) и в верхнекотлинских глинах венда (остатки ламинаритовых водорослей).

Наличие органической составляющей, которая служит питательным и энергетическим субстратом для различных форм микроорганизмов, также активизирует микробную деятельность, газогенерацию и соответственно процессы биокоррозии.

Подземные воды имеют исключительно важное значение при формировании различных видов агрессивности среды: физико-химической, химической и биохимической. Процессы агрессивности развиваются и интенсифицируются при загрязнении подземных вод. Разрез подземного пространства Санкт-Петербурга характеризуется практически полным обводнением пород. В историческом центре Санкт-Петербурга выделено четыре водоносных горизонта, три из которых приурочены к четвертичным отложениям, а один (нижнекотлинский) – к коренным породам венда. Наиболее активному загрязнению подвергаются грунтовые воды за счет утечек из систем водоотведения и захоронения свалок XVIII-XIX вв. Режим грунтовых вод на большей части города следует рассматривать как природно-техногенный. В зависимости от конкретной гидродинамической обстановки и соотношения напоров возможно перетекание загрязненных грунтовых вод в нижележащие горизонты. Особо высокой степенью агрессивности по отношению к бетонам и растворам характеризуется нижнекотлинский напорный горизонт, содержащий хлоридные натриевые воды повышенной минерализации (3-5 г/л). Высокие напоры водоносного горизонта и наличие трещиноватого водоупора способствуют восходящему перетеканию и агрессивному воздействию на бетонные и железобетонные конструкции подземных сооружений.

Специфика природных условий и воздействие таких техногенных факторов, как загрязнение подземного пространства органическими и неорганическими полютантами и повышение температуры в подземных конструкциях, способствуют формированию агрессивности среды по отношению к строительным материалам и конструкциям как XVIII-XIX вв., так и современных сооружений. Агрессивность подземной среды прослеживается до глубины 100 м и более.

При обследовании подземных транспортных сооружений отмечается прогресси-

рующее разрушение материалов обделок в различных формах: коррозия железобетона и чугуна, разрушение и вынос компонентов гидроизолирующего слоя (цемента), просачивание воды по горизонтальным и вертикальным швам, образование натечных форм (сталактитов и высолов) на внутренней части обделки тоннелей.

Под действием восходящего перетекания через трещиноватые глины хлоридных натриевых вод при давлении свыше трех атмосфер любой бетон становится проницаемым за счет диффузии ионов Na^{2+} и Cl^{-}, последующем образовании легкорастворимых соединений и их выносе. При рассмотрении химического состава водных вытяжек, приготовленных из отобранных разрушенных материалов и натечных образований, было отмечено, что преобладающими компонентами являются хлориды натрия за счет их постоянного перетока с подземными водами (рис.1).

Наличие в водных вытяжках SO_4^{2-} (концентрация до 10000 мг/л), алюминия (от 0,01 до 5,0 мг/л), кальция и магния свидетельствует о разрушении гидросульфоалюмината кальция, как компонента тампонажного цемента гидроизолирующего слоя подземных конструкций. Было отмечено, что средняя величина соотношения содержания кальция и магния во всех пробах составляла 5 : 1, что подтверждает разрушение цементной составляющей конструкций, тюбингов (рис.2).

По обследованным транспортным тоннелям проводился качественный и количественный анализ разрушенных строительных материалов на микробиологическую составляющую. Было установлено, что в коррозии бетонных конструкций принимают участие аэробные и анаэробные бактерии, а также микромицеты, среди последних преобладают биодеструкторы, часть из которых считается опасной для любых строительных материалов, причем 50 % видов рассматриваются как особо агрессивные (см. таблицу).

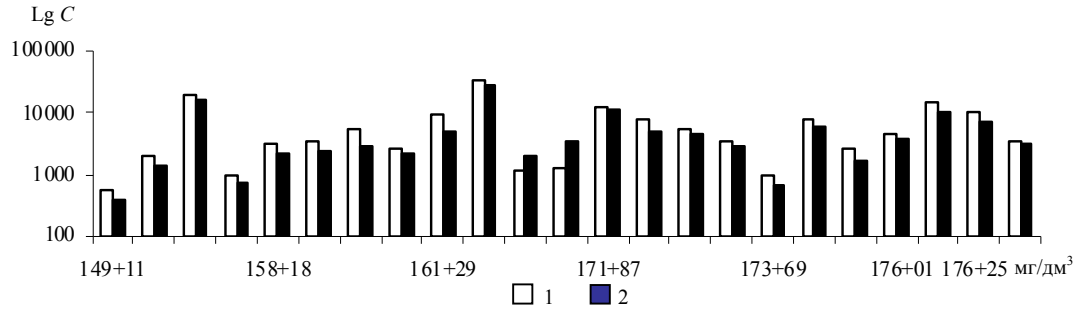


Рис.1. Характер изменения содержания хлоридов (1), натрия и калия (2) в водных вытяжках из разрушенных конструкционных материалов

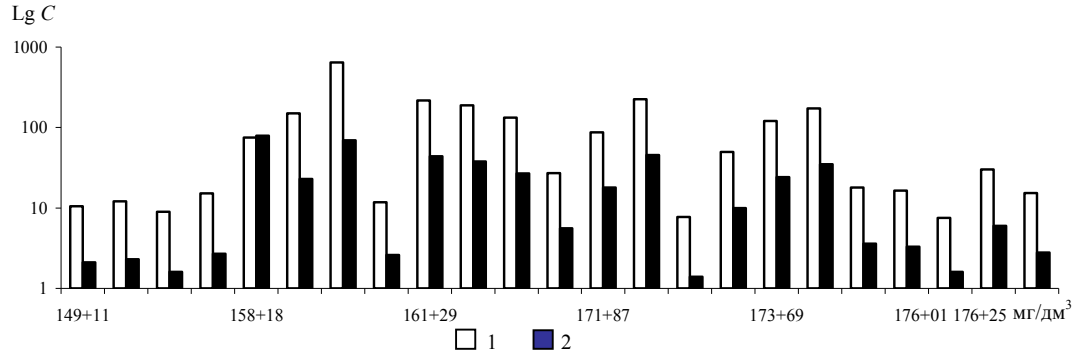


Рис.2. Характер изменения содержания кальция (1) и магния (2) в водных вытяжках из разрушенных конструкционных материалов, отобранных из подземных транспортных сооружений

Свойства наиболее встречающихся видов микромицетов, обнаруженных в пробах конструкционных материалов

Вид гриба	Деструктивные свойства		Потенциальная патогенность		Встречаемость в пробах, %	
	Тоннель I	Тоннель II	Тоннель I	Тоннель II	Тоннель I	Тоннель II
A.unguis	+	++	*	*	19	29
Chaetomium globosum	++	++	*	*	38	29
Cladosporium cladosporioides	++	++	*	*	19	29
C.sphaerospermum	++	Не опр.	*	Не опр.	31	Не опр.
P.diversum	+	Не опр.	–	Не опр.	6	Не опр.
U.chartarum	++	Не опр.	*	Не опр.	19	Не опр.
Mycelia sterilia	Не опр.	–	Не опр.	–	Не опр.	43

Примечание. Деструктивные свойства: ++ – активные биодеструкторы материалов и изделий; + – биодеструкторы материалов и изделий; (–) – деструктивные свойства не изучены. Потенциальная патогенность: * – известны как потенциальные патогены; (–) – патогенные свойства не известны; Не опр. – на данном участке вид грибов и их свойства не определены.

Обычно при рассмотрении проблемы коррозионной активности среды по отношению к строительным материалам предполагается, что наибольшая вероятность их разрушения существует в пределах 10-20 м. Следовательно, основное внимание следует уделять подземным конструкциям наземных зданий (фундаменты и станы подвалов), либо подземным переходам, верхним частям эскалаторных тоннелей.

В разрезе подземного пространства Санкт-Петербурга сочетание природных факторов (практически полная обводненность разреза, наличие минерализованных вод, органических остатков в грунтах и природной микробиоты, специфика структурно-тектонического строения и др.) с неблагоприятной экологической обстановкой (высокий уровень загрязнения верхних водоносных горизонтов биологически активными утечками из систем водоотведения, захороненных свалок, ликвидированных кладбищ) создает условия для развития всех форм агрессивности среды и, прежде всего, наиболее активной и малоизученной – биокоррозии, на глубину более 100 м. Результаты проведенных исследований требуют пересмотра существующих концепций по использованию типовых конструкционных материалов на новые биоустойчивые в подобных агрессивных средах.

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