УДК 624.131:551.3

О.Ю.АЛЕКСАНДРОВА
аспирантка кафедры гидрогеологии и инженерной геологии

ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОДЗЕМНОМ ПРОСТРАНСТВЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА (НА ПРИМЕРЕ ПЕРЕГОННЫХ ТОННЕЛЕЙ «ОБУХОВО – РЫБАЦКОЕ»)

В пределах Санкт-Петербурга выделены уровни освоения подземного пространства, на каждом из которых рассматривается влияние структурно-тектонических, инженерно-геологических, гидрогеологических и геоэкологических факторов на проявление экзогенных процессов.

Комплексное влияние природно-техногенных процессов на устойчивость сооружений в подземном пространстве Санкт-Петербурга рассмотрено на примере перегонных тоннелей «Обухово – Рыбацкое». Подчеркивается, что характер и интенсивность перемещений тоннельных конструкций зависит от состояния и физико-механических свойств вмещающих пород, гидродинамического и гидрохимического режима подземных вод, а также газодинамических явлений. Показано большое влияние биокоррозионных процессов в разрушении материалов обделок перегонного тоннеля.

It is marked out the levels of development in Saint-Petersburg underground space, where separately should be taken in consideration the influence of structural-tectonic, engineering-geological, hydrogeological, geoecological factors on an occasion for the display of exogenous processes and as a result of buildings stability.

Main natural and technological factors, which play negative part in development of prolonged and uneven deformations of the tunnels «Obuhovo – Ribackoe» in Saint-Petersburg subway are considered in the article. It is emphasized that the character and intensity of tunnel's throw depends on conditions, physico- mechanical rocks and soils properties, hydrodynamical and hydrochemical groundwater conditions, as well as gas-dynamic phenomenon. It is shown the profound effect of biocorrosion processes in lining material destruction.

Динамичное развитие Санкт-Петербурга и реализация новых проектов по многоуровенному освоению его подземного пространства требует проведения специальных исследований по прогнозу развития или активизации экзогенных процессов, которые во многом будут определять безопасность строительства и функционирования сооружений. Подземное пространство Санкт-Петербурга по интенсивности освоения разделено по глубине на два уровня: первый – от 0 до 50 м, второй – более 50 м, причем для каждого уровня выделены действующие экзогенные процессы, тип, характер и интенсивность которых определяются природными и техногенными факторами. К природным факторам относятся:

1) структурно-тектонические особенности территории, которые проявляются в развитии интенсивной трещиноватости коренных пород (песчаников и литифицированных глин нижнего кембрия и верхнего венда) в пределах тектонических разломов и их узлов, эксгаляция радона, регулирующего интенсивность микробной деятельности за счет повышения радиационного облучения, глубинных газов и других эманаций;

2) геолого-гидрогеологические условия, связанные с литологическим составом пород и степенью их обводненности и газонасыщенности.

К техногенным факторам относятся:

1) изменение напряженного состояния пород не только за счет строительства и эксплуатации наземных и подземных сооружений, варьирования напоров в глубоких водоносных горизонтах, но также и в результате химических и биохимических процессов в подземном пространстве;

2) химическое, микробное, температурное загрязнение основных компонентов подземного пространства, приводящее к преобразованию кислотно-щелочных, окислительно-восстановительных условий и активизации деятельности микробиоты.

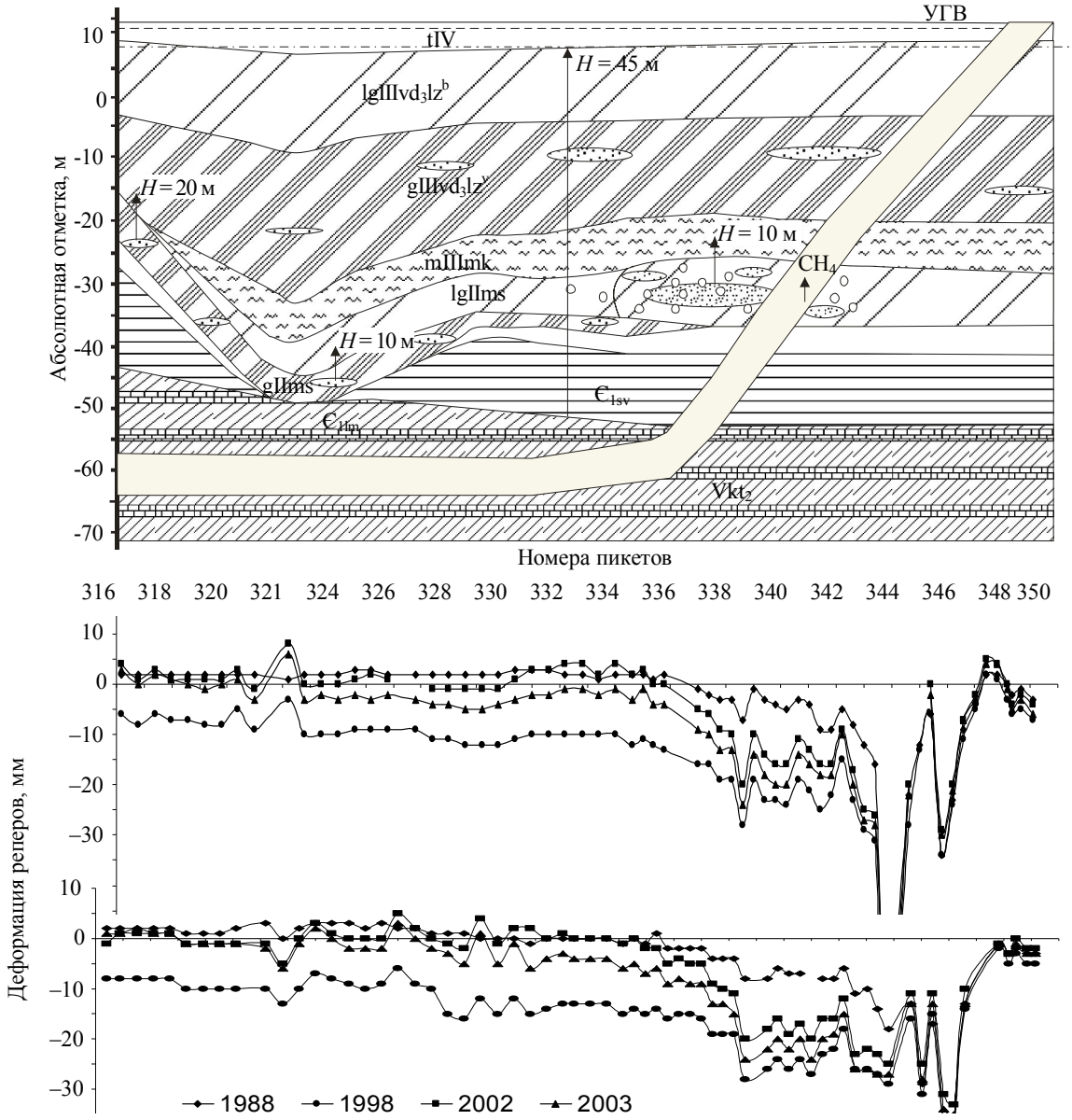
Необходимо подчеркнуть, что влияние структурно-тектонических условий в большей степени будет проявляться на втором уровне, а на первом основное значение приобретает высокое загрязнение подземного пространства. С учетом действия перечисленных факторов в пределах каждого уровня можно выделить как специфические, так и общие процессы для двух уровней освоения подземного пространства (см. таблицу).

Комплексное влияние природно-техногенных процессов на устойчивость сооружений в подземном пространстве Санкт-Петербурга было изучено в перегонных тоннелях «Обухово – Рыбацкое», глубина заложения которых меняется от 69,5 м (в кровле тоннеля) в районе станции метро «Обухово» с выходом на поверхность к станции метро «Рыбацкое». Согласно нивелирным наблюдениям в период с 1985 по 1998 г. тоннели испытывали опускание со скоростью деформаций от 1 до 24 мм/год, с 1998 по 2003 г. – знакопеременные деформации с ростом скоростей перемещения.

Участок перегонного тоннеля «Обухово – Рыбацкое» приурочен к левому борту субмеридиональной погребенной долины Пра-Невы, которая контролируется сетью разнонаправленных разломов [3]. Существование в зоне перегонного тоннеля Обуховского болота наряду с интенсивным загрязнением предопределяет поступление органических соединений и микробиоты в подземные воды и породы, что в свою очередь оказывает негативное воздействие на состояние и свойства грунтов, формирует повышенную агрессивность подземной среды [1].

Природные и природно-техногенные процессы в подземном пространстве Санкт-Петербурга

Уровни освоения подземного пространства	Экзогенные процессы		
	Специфические	Общие	
	Природно-техногенные	Природные	Природно-техногенные
I уровень (0-50 м)	• Истинные и ложные плывуны • Подтопление • Провалы и промоины • Оползни • Сдвижение дневной поверхности при строительстве и эксплуатации подземных сооружений и откачке подземных вод	• Истинные и ложные плывуны • Микробная деятельность • Биохимическое газообразование	• Загрязнение подземных вод и пород • Активизация микробной деятельности • Биохимическое газообразование • Негативное преобразование состава подземных вод и свойств пород • Деформации пород и сооружений за счет изменения гидродинамического режима водоносных горизонтов
II уровень (более 50 м)	• Неравномерные деформации тоннельных конструкций • Формирование локальных депрессий подземных вод вокруг поврежденных конструкций		• Неравномерные и длительные осадки наземных зданий и деформации подземных сооружений • Коррозионная деструкция строительных материалов • Фильтрационные деформации • «Наведенная» сейсмичность • Изменение температурного режима



Схематический геолого-литологический разрез по трассе Обухово – Рыбацкое
с указанием перемещений обделок

Сопоставление результатов замеренных перемещений по трассе перегонных тоннелей с особенностями инженерно-геологического разреза показали их тесную связь, что и позволило выделить три зоны вертикальных перемещений (см. рисунок).

В пределах зоны I тоннель проложен в трещиноватых верхнекотлинских глинах и песчаниках достаточно прочных и устойчивых с повышенной водо- и газопроницаемостью, при этом максимальные перемещения оседания (до 12 мм) вызваны растворением и выносом тампонажного раствора под действием агрессивных и напорных вод ломоносовских песчаников, залегающих в кровле тоннеля.

В этом интервале отмечены наибольшие течи и выносы тампонажного раствора. Агрессивность ломоносовского водоносного горизонта связана с подтоком через толщу трещиноватых верхнекотлинских глин венда высокоминерализованных напорных хлоридно-натриевых вод нижнекотлинского водоносного горизонта.

Зона II выделяется в пределах развития нижнекембрийских синих глин, которые обладают, как известно, более низкими модулями общей деформации, чем породы верхнего венда [2], с чем связано интенсивное оседание конструкции и концентрация трещин в тюбингах с раскрытием до 9 мм.

В зоне III тоннель проложен в слабых газонасыщенных межморенных песчано-глинистых отложениях, содержащих линзы напорных вод, и в микулинских битуминозных суглинках. Именно в зоне III наблюдается максимальное (до 83 мм) оседание тоннеля. Суммарные перемещения тоннельной конструкции складываются из деформаций оседания за счет выноса тампонажного раствора, сжатия пород в основании тоннельного сооружения и действия газодинамического давления.

Отобранные пробы новообразований и разрушенных материалов обделки показали наиболее высокое содержание бактериальной массы в разрушенном чугуне (до 142 мкг/г)* и выщелоченном тампонажном растворе (до 137,5 мгк/г), что дает основание предполагать, что существенную роль в коррозии строительных материалов играет биокоррозия. Кроме того, была определена численность видов микроскопических грибов методом посева на питательные среды, которые выявили 43 вида микромицетов – активных биодеструкторов бетонных и металлических конструкций, а также аэробных бактерий – нитрифицирующих, тионовых и железобактерий и актиномицетов с максимальным содержанием – 120 тыс.ед. на 1 г пробы**.

Данные изучения химического состава водных вытяжек новообразований показывают аномально высокое содержание органических соединений: ХПК и $БПК_5$ в разрушенном чугуне соответственно 2277,0 и 1470,0 $мгO_2/дм^3$, в тоннельных сталактитах 1158,3 и 115,4 $мгO_2/дм^3$, в выщелоченном тампонажном растворе 910,8 и 470,4 $мгO_2/дм^3$. В разрушенном чугуне железо практически вынесено, и графитовый каркас заполнен растворимыми продуктами коррозии, в том числе карбонатами, хлоридами натрия, кальция, магния. Состав тоннельных сталактитов отражает реакции растворения и выщелачивания тампонажных растворов хлоридными натриевыми водами при обязательном участии микроорганизмов. Разрушение тампонажных растворов сопровождается активным выносом силиката кальция, магния (содержание кремниевой кислоты 194,4 $мг/дм^3$) и сульфатов. В выносах тампонажного раствора отмечены волосяные формы – возможно ризоиды микроводорослей. По всей видимости, аварийное состояние обделки вызвано комплексным действием разнонаправленных напряжений, а также биокоррозионных процессов, связанных с агрессивностью подземной среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дашко Р.Э.* Микробиота в геологической среде: ее роль и последствия // Материалы годичной сессии «Сергеевские чтения». Вып.2. М.: ГЕОС, 2000.

2. *Дашко Р.Э.* Инженерно-геологические особенности коренных глин Санкт-Петербурга как среды для размещения подземных сооружений / Р.Э.Дашко, А.А.Еремеева // Материалы Межд. симпозиума «Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий». Екатеринбург: Аква-Пресс, 2001.

3. Новое в геологии / В.Г.Ауслендер, А.С.Яновский, Л.Г.Кабаков, Э.С.Плешивцева // Минерал. 2002. № 1(4).

* Определение бактериальной массы по модифицированной методики М.Бредфорда выполнено на кафедре инженерной геологии и грунтоведения СПбГУ.

** Исследования выполнялись в Биологическом НИИСПбГУ, а также в СПбНИИ эпидемиологии и микробиологии им. Пастера.

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