УДК 624.131:551.3

О.Ю.АЛЕКСАНДРОВА, А.В.ШИДЛОВСКАЯ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ВЛИЯНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИЙ И КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЯХ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Рассмотрены основные природные и техногенные факторы, формирующие специфику экологической обстановки в подземной среде, что оказывает влияние на развитие деформаций и коррозионных процессов транспортных тоннелей. К природным факторам относятся поступление радона, наличие погребенных болот и заторфованных пород. Техногенные факторы загрязнения подземного пространства – это хозяйственно-бытовые свалки, утечки из канализационных систем, кладбища. На примере некоторых перегонных тоннелей показано, что инженерно-геологические и гидрогеологические условия, а также геоэкологическая обстановка определяют особенности функционирования данных сооружений. Отмечено, что разрушение материалов тоннелей происходит главным образом за счет биохимического фактора.

The basic natural and technogenic factors which formed the specific of geoenvironmental condition in underground space and made an impact on deformations development and corrosive processes of transport tunnels are considered. The natural factors are radon emanation, buried bogs and peaty soils. The technogenic factors are disposal tips, leaking sewers, cemetery. By the example of some tunnels it is shown that the engineering geological, hydrogeological and geoenvironmental conditions formed the peculiarities of function these constructions. It is demonstrated that the degradation of tunnels materials mainly caused by biochemical factor.

При проектировании, строительстве и эксплуатации подземных сооружений, в том числе перегонных тоннелей метрополитена, не обращается внимания на экологическое состояние подземной среды, которое связано с воздействием природных и техногенных факторов. Один из природных факторов – радон, поступающий из толщи горных пород, руд, минералов с повышенным содержанием урана, который достаточно хорошо растворим в воде и нефтепродуктах, а также активно сорбируется глинами и органическим веществом. Фоновое содержание радона в зоне аэрации составляет 1-8 Бк/дм^3. В зонах тектонических разломов и на площадях развития палеодолин эти значения могут повышаться на порядки. Изменение напряженно-деформированного состояния пород вокруг подземных выработок приводит к повышению степени трещиноватости пород и образованию дополнительных путей миграции радона. Поступление радона стимулирует активизацию деятельности микроорганизмов, а также оказывает патогенное действие на здоровье человека, способствует повышению риска онкологических заболеваний. Кроме того, к природным факторам экологической обстановки в подземной среде относится существование погребенных болот и заторфованных грунтов, в зоне действия которых формируется своеобразная физико-химическая и биохимическая обстановка, связанная со снижением окислительно-восстановительного потенциала, а также активизацией микробной деятельности. Техногенные факторы загрязнения подземного пространства поверхностного и приповерхностного происхождения представлены действующими и захороненными

свалками хозяйственно-бытового назначения, поврежденными канализационными сетями, а также действующими и ликвидированными кладбищами.

С длительностью функционирования источников загрязнения возрастает глубина и интенсивность их воздействия на подземную среду, а также формируются значительные ореолы загрязнения. Обычно влияние площадных источников загрязнения, в число которых входят свалки хозяйственно-бытового мусора и кладбища, распространяется на расстояние 3-5 км. Воздействие линейных загрязнителей (несовершенные канализационные сети) прослеживается до 300 м в плане и на значительную глубину.

Исследования, проведенные в Санкт-Петербургском горном институте под руководством проф. Р.Э.Дашко на протяжении 20 лет, дали возможность убедиться в том, что воздействие поверхностных и приповерхностных загрязнителей может затрагивать все компоненты подземного пространства (горные породы, подземные воды, микробиоту, газовую составляющую и подземные несущие конструкции) при благоприятных гидродинамических условиях, связанных с перетоком загрязнения по разрезу сверху вниз, на глубину свыше 50 м.

Негативное влияние природных и техногенных факторов на инженерно-геологические и геоэкологические условия, а также особенности деформаций и развития коррозионных процессов транспортных тоннелей подтверждается данными исследований перегонных тоннелей «Ленинский проспект» – «Проспект Ветеранов», а также «Рампа» – «Автово».

История освоения и загрязнения данной территории насчитывает свыше 300 лет. Одно из активных загрязнителей подземного пространства – Красненькое кладбище, которое функционирует с 1776 г. На современном этапе рассмотрения экологического состояния территории основными внешними загрязнителями территории перегона «Ленинский проспект» – «Проспект Ветеранов» служат канализационно-бытовые стоки.

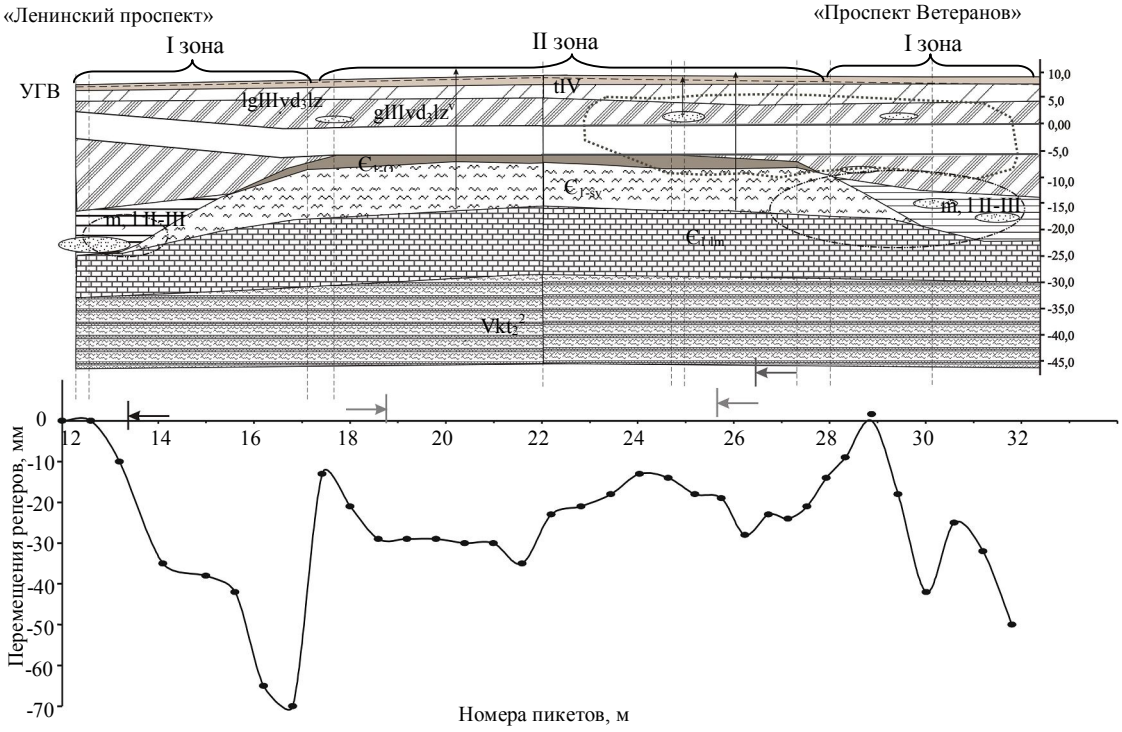
Все перечисленные объекты создания экологического неблагополучия в подземном пространстве способствуют поступлению в подземные воды и дисперсные водонасыщенные породы трудно- и легкоокисляемой органики, соединений серы и азота, микробиоты с большим диапазоном содержания различных физиологических групп микроорганизмов, а также коллоидной фракции, что оказывает негативное воздействие на состояние и свойства грунтов, формирует повышенную агрессивность подземной среды.

Живые и мертвые клетки микроорганизмов и продукты их жизнедеятельности поглощаются тонкодисперсной фракцией песчано-глинистых грунтов, образуя на поверхности зерен так называемые «биопленки», которые снимают трение между частицами и в значительной степени могут ослаблять связность (сцепление). Поглощение коллоидной фракции песками и супесями способствует снижению водопроницаемости, водоотдачи и приводит их в состояние псевдоплывунов и плывунов. Микробная деятельность, сопровождающаяся накоплением бактериальной массы (БМ), в условиях застойного гидродинамического режима не переносится в фильтрационном потоке, а постепенно депонируется и, в свою очередь, создает условия для перехода песчано-глинистых грунтов в категорию слабых сильносжимаемых грунтов, обладающих плывунными (пески и супеси) и тиксотропными свойствами (суглинки и глины).*

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

К первой зоне приурочены два участка по трассе перегонных тоннелей, которые

* *Дашко Р.Э.* Роль микробиоты в инженерной геологии и геоэкологии: история вопроса и результаты экспериментальных исследований / Р.Э.Дашко, О.Ю.Александрова, А.В.Шидловская; Сергеевские чтения. Вып.6. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии / ГЕОС. М., 2004. С.48-52.



Схематический геолого-литологический разрез по трассе перегонных тоннелей «Ленинский проспект» – «Проспект Ветеранов» с графиком развития деформаций

находятся над палеоврезами: в пределах станции «Ленинский проспект» и в районе станции «Проспект Ветеранов» (рисунок).

Первая зона характеризуется максимальными перемещениями оседания, которые имеют значительные амплитуды варьирования оседания, что приводит к росту относительных величин продольных перемещений и влияет на прочность тоннельной конструкции и появления в ней растягивающих напряжений. Вмещающими породами в пределах первой зоны служат моренные суглинки лужской стадии сильно пылеватые либо супеси, водоустойчивые, обладающие ярко выраженными тиксотропными свойствами, а при снижении содержания глинистых фракций – псевдоплывунными с низким значением модуля общей деформации. Суглинки, согласно исследованиям их механических свойств, характеризуются как квазипластичная среда, обладающая только сцеплением. По данным изысканий в этих зонах прослеживаются гляциодислокации и мощность слабых сильносжимаемых грунтов составляет 15-20 м. В межледниковых отложениях и моренных суглинках локально развиты линзы песков, содержащих напорные воды.

В этих зонах повсеместно отмечается просачивание вод между тюбингами, а также через тюбинги, наблюдается интенсивное выщелачивание раствора между тюбингами в виде пористого материала, обильное образование слизей с нитчатыми образованиями, формирование сталактитов. По всей очевидности, отмечается достаточно высокая активность микроорганизмов, вызванная не только загрязнением подземной среды, но и повышением радиоактивности.

Вторая зона имеет наибольшую протяженность и размещается между двумя палеоврезами. Большая часть второй зоны проходит по контакту четвертичной толщи с коренными нижнекембрийскими синими глинами и лишь в примыканиях к палеоврезам в подошве тоннелей прослеживаются остаточные мощности моренных отложений. В подошве тоннелей залегают разуплотненные сильно трещиноватые коренные глины и маломощный переходный слой, которые по своим деформационным свойствам несколько отличаются от тиксотропных мо-

ренных отложений первой зоны. Варьирования оседания связаны, по всей вероятности, с различной деформационной способностью нижнекембрийских глин, а также с изменением давления столба породы над тоннелями в связи с различными гидродинамическими условиями водоносных горизонтов.

Вне участков палеоврезов кровля ломоносовского горизонта максимально приближена к подошве тоннеля. Водоупорная толща – трещиноватые и дезинтегрированные синие глины обладают повышенной проницаемостью, способствующей подъему минеральных вод хлоридно-натриевого состава, которые активно взаимодействуют с конструкционными материалами со стороны подошвы тоннелей.

Результаты обследования перегонных тоннелей показали, что наблюдается прогрессирующее разрушение тюбингов и тампонажного раствора, с последующим выносом продуктов деградации по стыкам между тюбингами. Наиболее высокие значения бактериальной массы отмечаются в образцах разрушенного тампонажного раствора со слизью, поскольку слизь – это продукт жизнедеятельности микроорганизмов, который на 50-60 % состоит из белковых соединений микробного генезиса. Значения бактериальной массы (БМ) в различных новообразованиях в тоннелях 1 и 2 по трассе «Ленинский проспект» – «Проспект Ветеранов»:

Тоннель 1

Значение БМ, мкг/г	87,5	41,6	40,8
Тип новообразований	Вынос разрушенного раствора со слизью и нитчатыми формами	Выщелоченный тампонажный раствор	Нитчатые формы на тюбингах

Тоннель 2

Значение БМ, мкг/г	70,3	98,2	75,0
Тип новообразований	Сталактиты	Вынос разрушенного раствора со слизью	Сталактиты

В тоннелях наблюдается образование высолов и натечных форм на тюбингах за счет роста их проницаемости, образование сталактитов по горизонтальным и вертикальным швам, повсеместное образование пористых материалов при выщелачивании тампонажного раствора, активные протечки в своде тоннеля.

Данные изучения химического состава воды, просачивающейся между тюбингами и из разгрузочного шпура показывают высокое содержание органических соединений: показатель ХПК составляет 346,5 и 719,7 мг O_2/л соответственно, $БПК_5$ – 23,5 и 83,3 мг O_2/л. Кроме того, отмечается присутствие сероводорода в воде из разгрузочного шпура в количестве 27,4 мг/л.

В разрушении материалов тоннелей значительное влияние имеет биохимический фактор, что подтверждается результатами исследования химического состава водных вытяжек, в частности из натечных форм на тюбингах. Отмечается аномально высокое количество ХПК – 10626 мг O_2/л, $БПК_5$ – 499,8 мг O_2/л и перманганатной окисляемости – 832,6 мг O_2/л. Следует отметить, что в рассматриваемой пробе зафиксированы наиболее высокие содержания органики среди всех исследованных водных вытяжек по шести тоннелям метро. Образование водорастворимых соединений свидетельствует об активности коррозионной среды – горных пород и подземных вод.

Можно предполагать, что перемещения оседания тоннеля по трассе могут меняться во времени, что связано не только с деформационной способностью пород в подошве тоннеля, но также с постепенным выщелачиванием тампонажных растворов, колебаниями уровней напорных и безнапорных водоносных горизонтов, динамическими воздействиями проходящих поездов.