УДК 624.131:551.252

Р.Э.ДАШКО, *д-р геол.-мин. наук, профессор, regda2002@mail.ru*
К.В.ПАНКРАТОВА, *аспирант, pan-ksenia@yandex.ru*
А.А.КОРОБКО, *студент, anast-korobko@yandex.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный университет

R.E.DASHKO, *Dr. in geol. & min. sc., professor, regda2002@mail.ru*
K.V.PANKRATOVA, *post-graduate student, pan-ksenia@yandex.ru*
A.A.KOROBKO, *student, anast-korobko@yandex.ru*
Saint Petersburg State Mining University

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДИНАМИКИ РАЗРУШЕНИЯ ТОННЕЛЯ НА УЧАСТКЕ АВТОДОРОГИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ – КИЕВ

Определены причины перехода тоннельной конструкции в предаварийное состояние и характер развития оползневых смещений подрезанного склона, в разрезе которого прослеживаются нижнекембрийские синие глины. Сделана оценка влияния микробной деятельности как негативного фактора разрушения конструкционных материалов, а также снижения прочности синих глин. Выявлены закономерности изменения состояния и прочности синих глин по глубине разреза с учетом степени их дезинтеграции – слоистости и трещиноватости. Проведена количественная оценка устойчивости конструкции транспортного тоннеля с учетом изменения прочности синих глин как анизотропной среды при различном положении поверхности скольжения. Предложена стратегия мероприятий по обеспечению эксплуатационной надежности данного сооружения.

***Ключевые слова*:** нижнекембрийские синие глины, подрезанный склон, транспортный тоннель, бактериальная масса, оползень, трещиноватость толщи, расчеты устойчивости, биокоррозия конструкционных материалов.

STUDY OF ENGINEERING-GEOLOGICAL AND MICROBIOLOGICAL FACTORS FOR ASSESSING THE DYNAMICS OF FRACTURE IN TUNNEL HIGHWAY SAINT PETERSBURG – KIEV

Reasons of transition tunnel construction to the pre-emergency state and the nature of landslide displacements trimmed slope, which can be traced in the context of the Lower Cambrian blue clay are defined. Influence of microbial activity as a negative factor fracture of structural materials, as well as strength reducing of blue clay. Regularities of changes in the state and the strength of blue clay at the depth, taking into account their degree of disintegration – layering and fracturing. The quantitative evaluation of stability of the construction of the transport tunnel, taking into account changes in the strength of blue clay as an fissered medium at different positions of the landslide surface. The strategy of measures to ensure the reliability of the facilities.

***Key words*:** Lower Cambrian blue clay, cut slope, the transport tunnel, bacterial mass, landslide, fracture thickness, calculations of the stability, biocorrosion of structural materials.

В настоящее время проводится реконструкция автодороги второй технической категории М-20 Санкт-Петербург – Киев (Пулковско-Киевское шоссе) на участке г.Пушкин – пос. Дони в административных границах Санкт-Петербурга.

Рассматриваемый тоннель, пройденный открытым способом в траншее с максимальной глубиной заложения 7,1-8,0 м со стороны Киевского шоссе и 8,5-9,2 м со стороны Ленинградского шоссе, размещается в пределах южной части Предглинтовой низ-

Изменение показателей свойств нижнекембрийских синих глин по глубине

Зона	Глубина от поверхности, м	Влажность, %	Плотность, т/м^3	Размер блока, м	Параметры образца (в блоке)				Относительная деформация разрушения образцов в стабилометре, %
					при трехосных испытаниях		в сдвижных приборах		
					Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения	
I	0-3,0	21,4-27,0	1,96-2,05	0,15-0,20	0,035-0,050	0°	0,055-0,075	0-3°	6,2
II	3,0-8,0	20,0-23,0	2,08-2,19	0,20-0,30	0,075-0,117	0-2	0,11-0,145	6-8	5,7
III	8,0-17,0	16,0-21,0	2,10-2,22	0,30-0,45	0,220-0,340	6-8	0,34-0,40	6-8	5,7
IV	17,0-26,0	15,5-18,0	2,15-2,28	0,50-0,60	0,40-0,52	6-8	0,48-0,55	6-9	5,2
V	26,0-40,0	15,5-18,0	2,14-2,22	0,60-0,70	0,57-0,68	8-10	0,60-0,68	8-12	4,6
VI	Ниже 40,0	15,5-18,0	2,12-2,22	1,0-1,20	0,70-0,82	8-10	0,75-0,82	8-12	3,0

менности. Траншея подрезает пологий естественный склон, в разрезе которого выделено четыре типа отложений (сверху-вниз): техногенные образования, моренные отложения, нижнекембрийские синие глины, озерно-ледниковые пески локально под техногенными грунтами.

Большая часть транспортного тоннеля (по глубине) располагается в нижнекембрийских синих глинах, которые относятся к литифицированным отложениям с устойчивой консистенцией. В практике инженерно-геологической оценки глин формы консистенции, согласно действующим нормативным документам, имеют определяющее значение для характеристики их прочности и несущей способности.

Синие глины широко используются в качестве основания либо среды сооружений в пределах Предглинтовой низменности. Вместе с тем строительство и эксплуатации сооружений различного назначения на синих глинах в ряде случаев сопровождается авариями либо переходом объектов в предаварийное состояние*. Анализ показал, что в ряде случаев причиной перехода объектов в предаварийное или аварийное состояния послужил недоучет влияния макро- и микротрещиноватости этих глин на их прочность и деформационную способность.

Еще в начале 80-х гг. прошлого века на кафедре инженерной геологии Санкт-Петербургского горного института были выполнены работы, позволившие установить зональное строение нижнекембрийских глин в пределах Предглинтовой низины Санкт-Петербургского региона, которое связано с историей его геологического развития в палеозойское – кайнозойское время, когда нижнекембрийские глины испытали несколько циклов прогрессивного и регрессивного литогенеза.** Глинистые породы, выведенные на дневную поверхность в позднем палеозое, подвергались разуплотнению, дополнительной гидратации и выветриванию до начала оледенения. За счет тектонических и нетектонических факторов шло формирование трещиноватости синих глин. Закономерности изменения физико-механических свойств синих глин по глубине, а также степени их трещиноватости (блочности) для разреза Предглинтовой низменности даны в таблице. Наибольшая степень дезинтегрированности устанавлена в верхней зоне, в которой пройден рассматриваемый тоннель.

---

* *Дашко Р.Э.* Механика горных пород: Учебник для вузов. М., 1987. 264 с.

Dashko R.E. Mechanics of rocks: Textbook for high schools. Moscow, 1987. 264 p.

** *Дашко Р.Э.* Особенности инженерно-геологического анализа нижнекембрийских синих глин как основания сооружений // Механика грунтов, основания и фундаменты: Межвуз. сб. науч. тр. Л., 1984. С. 85-93.

Dashko R.E. Especially engineering-geological analysis of the Lower Cambrian blue clay as the base facilities // Mechanics of soil, ground and foundations: Interuniversity collection of scientific papers. Leningrad, 1984. C.85-93.

При проектировании тоннеля не были учтены две принципиально важные позиции, имеющие значение для обеспечения его устойчивости: подрезка тоннелем пологого естественного склона, а также дезинтегрированность нижнекембрийских синих глин, снизившая их прочность (сопротивление сдвигу).

Тоннель был открыт в 2008 г., а через год начались деформации тоннельной конструкции. Для оценки состояния тоннельной конструкции и причин ее активного разрушения был выполнен комплекс лабораторных исследований:

- химический анализ состава водных вытяжек их разрушенных материалов;
- определение гранулометрического состава заполнителя строительного раствора, который использовался для заделки швов между бетонными плитами;
- микробиологические исследования и оценка биохимических процессов, протекающих в разрушающихся конструкционных материалах;
- исследования состава и физико-механических свойств вмещающих тоннель пород – синих глин, оценка изменения их состояния и прочности по глубине разреза.

Анализ химического состава водных вытяжек* дает возможность оценить степень разрушенности исследуемых материалов по завышенному содержанию $Ca(OH)_2$, что свидетельствует о плохом качестве использованного цемента. Разрушение цементных минералов доказывается присутствием во всех пробах иона алюминия, хотя алюминат кальция как один из основных цементных минералов не принадлежит к водорастворимым соединениям. Во всех водных вытяжках присутствует аммоний (NH_4^+), что говорит о загрязнении грунтовых вод за счет утечек из канализационной системы, проходящей вблизи тоннеля. Обращают на себя внимание относительно низкие значения pH в водных вытяжках, которые связаны с нейтрализацией щелочности среды при разрушении цементных минералов органическими и неорганическими кислотами, образующимися в процессе биохимической деятельности микроорганизмов.

Микробиологические исследования образцов строительных материалов были выполнены Д.Ю.Власовым и Е.Ю.Дмитриевой. Был выявлен 21 вид микромицетов, их которых *Alternaria alternate*, *Exophiala moniliae*, *Fusarium sporotrichioides* рассматриваются как активные деструкторы бетонов и строительных растворов. Кроме того, среди видового состава микромицетов, среди которых зафиксированы микроорганизмы, характерные для среды, загрязненной канализационными стоками.

Помимо микромицетов, в разрушенных материалах установлено наличие сапрофитных форм бактерий, гетеротрофных аэробных и факультативно-анаэробных форм бактерий, а также тионовых бактерий, вырабатывающих серную кислоту.

В большинстве проб поврежденных материалов зафиксирована повышенная численность колониеобразующих единиц (5 000 КОЕ/г).

Выполненные микробиологические исследования подтвердили значимость для нормальной эксплуатации тоннеля биокоррозии конструкционных материалов, которая активизируется под действием напряжений (стресс-коррозия). Необходимо отметить, что вся толща синих глин характеризуется высоким уровнем микробной пораженности. Величина бактериальной массы (БМ) варьируется в пределах 9,51-77,00 мкг/г, что лишний раз доказывает необходимость учета биокоррозионной активности подземной среды по отношению к конструкционным материалам.

В лаборатории Центра инженерных исследований института были определены состав и физико-механические свойства синих глин на образцах, отобранных из скважин, пройденных вблизи действующего тоннеля.

Все исследованные образцы синих глин относятся к глинам тяжелым, либо пылеватым и по своему деформационному поведению характеризуются как квазипластичные разности. Углы внутреннего трения менее 4°, а сцепление при испытании пород в условиях трехосного сжатия изме-

* Водные вытяжки готовились согласно ГОСТ 27753/2-88. Метод приготовления водной вытяжки. М., 1988.

няется от 3,4 до 4,6 тс/м^2; с учетом макротрещиноватости оно снижается до 1,7-2,3 тс/м^2. Коэффициент структурного ослабления глин при учете макротрещиноватости был получен путем расчетов.[**]

С учетом трещиноватости глин были назначены параметры сопротивления сдвигу, которые использовались в расчетах локальной устойчивости и общей устойчивости подрезанного откоса. Для определения локальной устойчивости были приняты данные исследований Ленинградского треста инженерно-строительных изысканий, причем в расчетах применялись низкие значения сцепления и угла внутреннего трения, характерные для глубины 6,6 м, где отчетливо прослеживается зона скольжения. Для учета макротрещиноватости был использован ранее рассчитанный коэффициент структурного ослабления $\lambda = 0,5$.

Расчеты подтверждают, что подрезанный склон находится в неустойчивом состоянии, медленные (пластические) деформации откоса оказывают давление на стенки тоннеля, при этом гарантии обеспечения эксплуатационной надежности и устойчивости конструкции тоннеля отсутствуют.

Специальный анализ рельефа в пределах поворота автодороги, где проложен тоннель, позволил установить наличие старого стабилизировавшегося оползневого смещения с выраженной поверхностью отрыва в верхней части откоса, которая в настоящее время несколько размыта.

Варианты стабилизации подрезанных и пригруженных откосов не отличаются большим разнообразием. Для обеспечения устойчивости откосов, сложенных глинистыми породами, обычно используют подпорные стенки в виде массивной бетонной конструкции в нижней части откоса, подошва которой обычно закладывается ниже поверхности скольжения с учетом возможности ее смещения на более низкие отметки за счет дополнительной массы подпорной стенки. Подпорные стенки могут быть устроены также из одного или двух рядов буронабивных армированных свай, с глубиной заложения на 5-7 м ниже наиболее глубокого положения поверхности скольжения. Кроме того, необходимо использовать при ремонте тоннельных конструкций материалы, проверенные на биоустойчивость относительно выявленного микробиоценоза.

[**] *Дашко Р.Э.* Особенности инженерно-геологического анализа нижнекембрийских синих глин как основания сооружений // Механика грунтов, основания и фундаменты: Межвуз. сб. науч. тр. Л., 1984. С. 85-93.

Dashko R.E. Especially engineering-geological analysis of the Lower Cambrian blue clay as the base facilities // Mechanics of soil, ground and foundations: Interuniversity collection of scientific papers. Leningrad, 1984. C.85-93.