

---

---

**ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ  
И ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

---

---

УДК 624.131.1:551.252

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРУНТОВ  
ПО ТРАССЕ НОВОЙ КОЖУХОВСКОЙ ЛИНИИ  
МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА**

© 2015 г. В. И. Осипов, Ю. А. Мамаев, А. А. Ястребов, Л. В. Канаева

*Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,  
Уланский пер., д.13, стр. 2, Москва, 101000 Россия. E-mail: mamaev47ya@mail.ru*

Поступила в редакцию 12.02.2014 г.

Дается краткая характеристика инженерно-геологических условий территории строительства новой Кожуховской линии метрополитена на востоке Москвы. Рассматриваются особенности геологического разреза вдоль трассы. Приводятся обобщенные характеристики состава, состояния и свойств грунтов, важные для проектирования и строительства подземных сооружений.

**Ключевые слова:** *геологическое строение, физико-механические и коррозионные свойства грунтов.*

Москва, как любой из мегаполисов мира, испытывает значительные транспортные проблемы. Для их решения администрация города разрабатывает и применяет разнообразные меры строительного и организационного характера. При Московской городской думе создана специальная комиссия, накапливающая и обобщающая проекты и предложения по улучшению транспортной ситуации в городе. Разработана и реализуется новая концепция развития транспортной инфраструктуры города, в которой первостепенное значение отводится реконструкции и строительству сетей и сооружений общественного транспорта, как наземного, так и подземного.

Программой развития метрополитена в г. Москве на период 2012–2020 гг. предусматривается строительство 14 новых линий и участков с общей протяженностью тоннелей 170 км и 65 станций метро. Из них до 2015 г. должны быть построены 35 станций и до 2020 г. еще 30 станций.

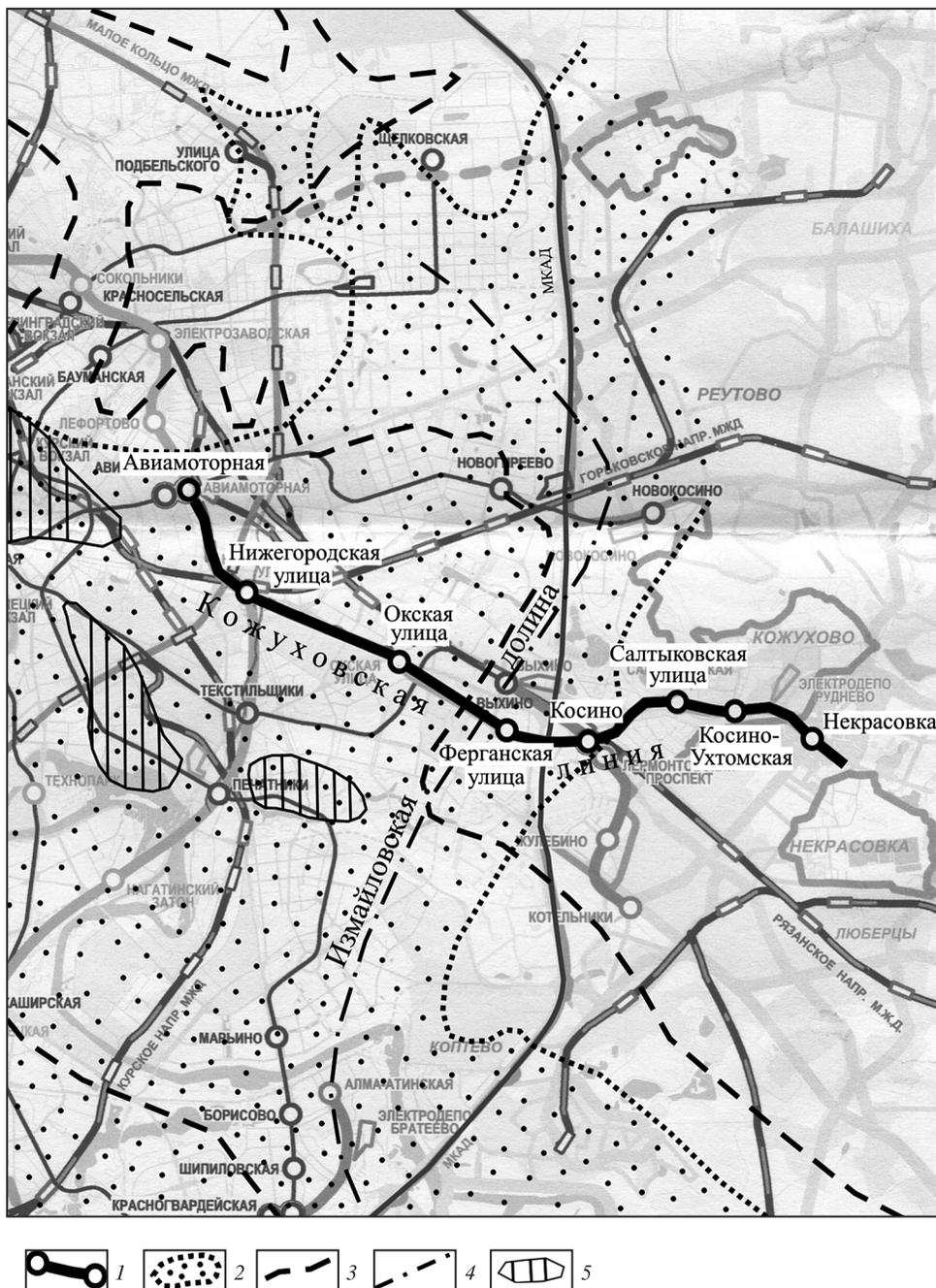
Одной из наиболее протяженных является трасса новой Кожуховской линии метро от станции “Авиамоторная” до станции “Некрасовка”, с расположением 4 станций за пределами Московской кольцевой автодороги (МКАД). Данная линия (рис. 1) располагается в восточной части города, включает 8 станций метро и примерно 18 км тоннелей. Общее плановое положение новой линии метро параллельно Казанскому направлению же-

лезной дороги с пересечением ее в районе платформы “Косино”. В границы Москвы попадают 4 станции: новая станция “Авиамоторная”, далее “Нижегородская улица”, “Окская” и “Ферганская улица”.

Цель инженерно-геологических работ – природное обоснование конструктивных решений в составе проектов строительства новых станций и тоннелей Кожуховской линии, в том числе характеристика состава, состояния и свойств горных пород, которые будут вмещающей средой и основанием зданий и сооружений метрополитена.

Учитывая большой объем инженерных изысканий, уже выполненных на территории Москвы [1, 2, 3], в том числе по рассматриваемому району работ, задачами работ предусматривался анализ результатов определений состава и физико-механических свойств горных пород исследуемой территории. Были обобщены и проанализированы фондовые материалы организаций ОАО “Метрогипротранс”, ОАО “Мосинжпроект”, ИГЭ РАН и других. Рассматривались данные бурения, геофизических работ, лабораторных геотехнических исследований грунтов.

Выполненный анализ представленных материалов позволил охарактеризовать особенности верхней части геологического разреза рассматриваемой территории по трассе новой линии метро и дать обобщенную оценку состава и физико-механических свойств грунтов.



**Рис. 1.** Фрагмент схемы планового положения новой Кожуховской линии московского метро с границами древних переуглубленных речных долин: 1 – трасса Кожуховской линии метро; 2 – границы древней доюрской переуглубленной долины; 3 – границы дочетвертичной переуглубленной долины; 4 – тальвег доюрской Измайловской долины; 5 – участки размыва юрских отложений.

### ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ УЧАСТКА

Территория строительства новой Кожуховской линии Московского метрополитена в физико-географическом отношении относится к Подмосковной (песчаной) равнине, расположенной на западной окраине обширной Мещерской задро-

во-аллювиальной равнины, распространенной к востоку от Москвы [3]. В пределах Московской кольцевой автодороги она занимает всю восточную половину территории города и характеризуется плоским слабоволнистым рельефом с отметками поверхности 120–150 м, который сформировался под воздействием многократных

оледенений и последующих флювиальных явлений при отступании ледников.

Начало трассы – новая дополнительная станция “Авиамоторная” – располагается на приподнятом водоразделе долин рек Яуза и Нищенка с абсолютными отметками земли 146–148 м. Участок сложен с поверхности аллювиально-флювиогляциальными отложениями III (ходынской) надпойменной террасы р.Москвы верхнеплейстоценового возраста (a,f III hd) мощностью до 10 м. Последние практически повсеместно перекрыты маломощным (0.5–2.0 м) чехлом техногенных отложений.

Ниже, на глубине от 4 до 10 м, залегают ледниковые отложения основной среднечетвертичной днепровской морены (g II dn), мощностью 4–5 м, имеющие фрагментарное распространение.

Ниже моренных валунных суглинков залегает толща нерасчлененных аллювиально-флювиогляциальных отложений окского и днепровского горизонтов, соответствующих этапам отступления ледников (a,f Пок-dn), представленных преимущественно песками мощностью от 5 до 8 м. С глубины 3–4 м вся толща четвертичных отложений водонасыщена.

На рассматриваемом участке четвертичные отложения повсеместно подстилаются плотными тяжелыми глинами юрского возраста ( $J_3$ ) мощностью 8–10 м, которые залегают со стратиграфическим несогласием на размытой выветрелой поверхности толщи верхнего карбона ( $C_3$ ), представленной переслаивающимися пачками известняков, мергелей и карбонатных глин.

К востоку (станции “Нижегородская улица” и “Окская”) трасса пересекает переуглубленную палеодолину р. Нищенка, впадающую с севера в древнюю переуглубленную долину Пра-Москвы в районе Нагатинской поймы.

Геологическое строение долины р. Нищенка характеризуется этажным (друг над другом) залеганием трех разновозрастных долин, а именно: доюрской, дочетвертичной и четвертичной, с увеличенными мощностями выполняющих их отложений, соответственно: юрского, нижне-среднеплейстоценового и верхнеплейстоценового возраста. Это отражено на схеме соотношения четвертичных отложений по рассматриваемой трассе метро (рис. 2).

Станция “Нижегородская улица” располагается в границах четвертичной долины р. Нищенка на поверхности II (мневниковской) надпойменной террасы, вложенной в толщу аллювиально-флю-

виогляциальных отложений среднего плейстоцена (a,fПок-dn). Естественные (неизменные) отметки поверхности земли составляют 132–135 м.

Станция “Окская” располагается над центральными русловыми наиболее глубокими частями доюрской и дочетвертичной долин р. Нищенка с наибольшими мощностями выполняющих их осадков. С поверхности залегают аллювиально-флювиогляциальные отложения III (ходынской) надпойменной террасы верхнеплейстоценового возраста (a,f III hd) в составе отложений самой молодой четвертичной речной долины р. Нищенка (абс. отметки поверхности земли 146–148 м). Отложения характеризуются преимущественно песчаным составом и мощностями от 2 до 10 м, при средних значениях 4–6 м, залегают с разрывом на фрагментах днепровской морены (g II dn) и нерасчлененных аллювиально-флювиогляциальных отложениях окского и днепровского горизонтов (a,f II ок-dn), и с поверхности перекрываются техногенными образованиями мощностью 1–5 м. С глубин 4–6 м вся толща четвертичных отложений водонасыщена. Геологическое строение данного участка сходно со строением участка строительства новой дополнительной станции “Авиамоторная”.

Далее к востоку, в районе новых станций метро “Ферганская улица” – “Косино”, трасса метрополитена будет проходить над древней доюрской Измайловской долиной с переуглублением до 30–35 м, впадающей в Пра-Москву, и также имеющей этажное залегание разновозрастных речных долин.

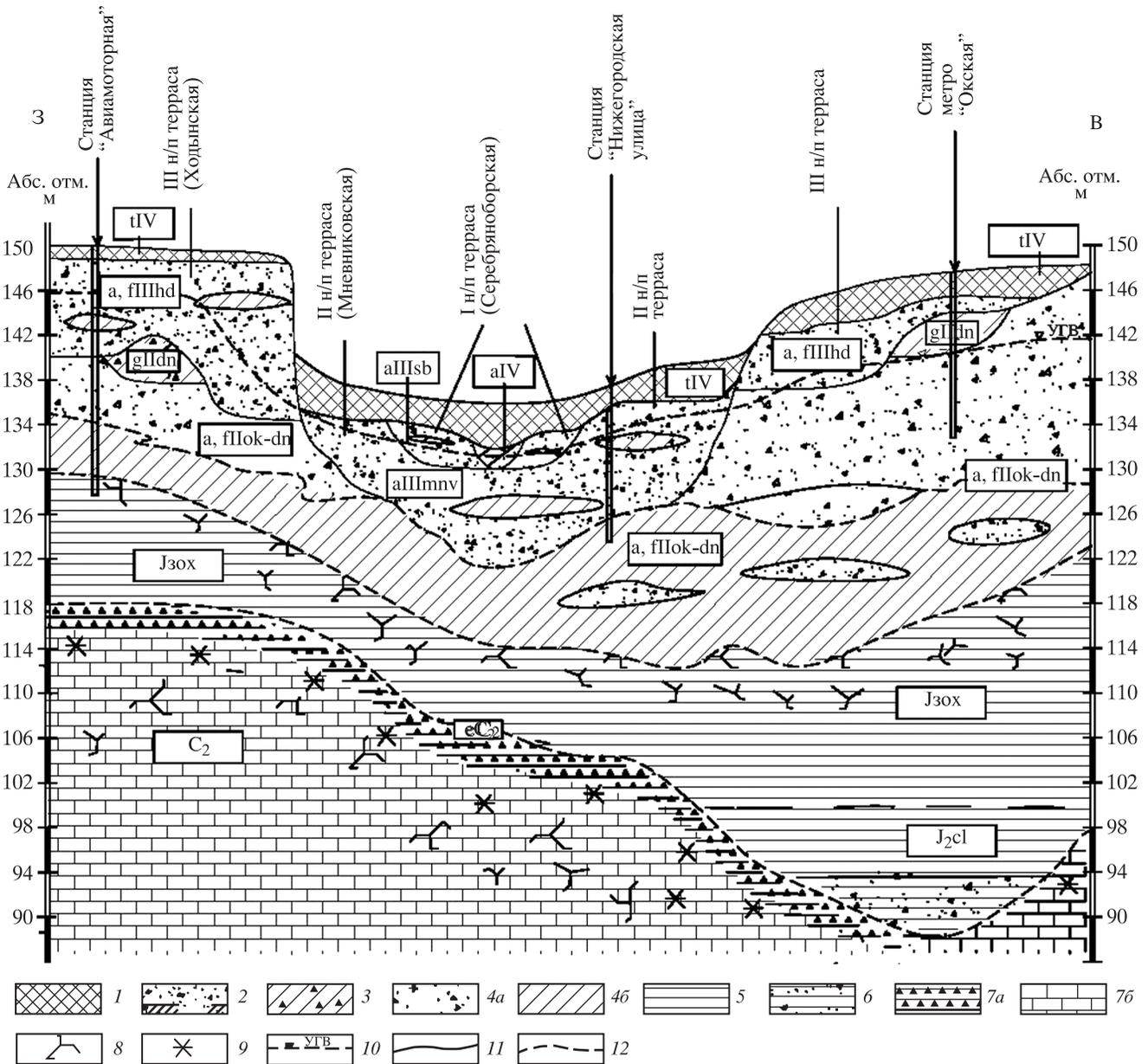
## СОСТАВ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

В соответствии с геологическим разрезом территории новой Кожуховской линии метро, расположенной в границах Москвы (см. рис. 2), ниже дается обобщенная характеристика состава и свойств грунтов, участвующих в его строении.

Выделены литолого-генетические (для четвертичных отложений) и стратиграфо-петрографические (для коренных пород) комплексы пород, в пределах которых по фондовым материалам охарактеризованы основные виды и разновидности грунтов. Они отличаются составом, состоянием и показателями физико-механических свойств, которые обусловлены различными условиями их накопления и формирования.

Из большого разнообразия показателей состава, состояния и свойств грунтов выбраны и

## Долина р. Нищенка



**Рис. 2.** Схема соотношения четвертичных отложений по трассе новой Кожуховской линии метро на участке пересечения долины р. Нищенка: 1 – современные техногенные образования (tIV): строительный мусор, глинисто-супесчаные породы с обломками древесины, угля, кирпича, известняка; 2 – современные и верхнечетвертичные аллювиальные отложения поймы III, II, I н/п террас (aIV, aIIIhd, aIII mn, aIIIsb): пески мелкие и средней крупности с прослоями супесей и суглинков; 3 – отложения морены днепроовского оледенения (gII dn): суглинки от полутвердых до мягкопластичных, с дресвой и щебнем осадочных и изверженных пород, с прослоями и линзами песков средней крупности; 4 – аллювиально-флювиогляциальные отложения окско-днепровского оледенения (a, fII ok-dn): а) пески от пылеватых до гравийных, с включением гальки; б) суглинки от полутвердых до текучепластичных; 5 – верхнеюрские оксфордские отложения (J3 ox): глины и суглинки с включениями фауны и стяжениями пирита; 6 – среднеюрские келловейские отложения (J2 cl): глины твердые и пески разнозернистые с углистыми включениями; 7 – верхнекаменноугольные отложения (C2): а) глины известковистые, полутвердые и твердые с включением щебня известняков; б) известняки глинистые; 8 – трещиноватость; 9 – закарстованность; 10 – уровень грунтовых вод; 11 – стратиграфические границы; 12 – условные литологические границы.

приводятся наиболее важные для оценки условий строительства и эксплуатации сооружений метрополитена.

#### *Техногенные образования (t IV)*

Отложения представлены суглинками от мягкопластичных до полутвердых; песками пылеватыми и средней крупности с включением строительного мусора до 20–35%; глинисто-супесчаными породами с обломками древесины, угля, кирпича, известняка.

По фоновым данным, насыпные пески характеризуются следующими показателями свойств: естественная влажность ( $w$ ) = 0.18 – 0.20, плотность при естественной влажности ( $\rho$ ) = 1.4–1.6 г/см<sup>3</sup>, плотность сухого грунта (скелета)  $\rho_d$  = 1.4 г/см<sup>3</sup>, пористость ( $n$ ) = 0.45–0.48, угол внутреннего трения  $\varphi$  = 27°, сцепление ( $c$ ) < 0.01 МПа, модуль деформации ( $E$ ) = 20 МПа.

Насыпные суглинистые грунты на участке строительства имеют плотность  $\rho$  = 1.8 г/см<sup>3</sup>, коэффициент фильтрации  $K_{\phi}$  = 0.5 м/сут и высокую коррозионную активность по отношению к железу.

#### *Отложения II (мневниковской) аллювиальной надпойменной террасы (a III mn)*

В разрезе II надпойменной террасы встречаются пески мелкие и средней крупности, прослой супесей и суглинков. Пески желтые, средней плотности, от маловлажных до водонасыщенных. С глубины 5–6 м грунты обводнены. В естественном залегании имеют плотность 2.0 г/см<sup>3</sup>, пористость 0.3–0.4, параметры сдвиговой прочности:  $\varphi$  = 28–32°,  $c$  = 0.01–0.02 МПа; модуль деформации 14–28 МПа, коэффициент фильтрации до 10 м/сут, коэффициент удельного отпора  $K_o$ –2.5.

Суглинки от мягкопластичных до тугопластичных характеризуются: плотностью 2.17 г/см<sup>3</sup>, пористостью 0.3,  $\varphi$  = 19–23°,  $c$  = 0.015–0.04 МПа,  $E$  от 3.0 до 10 МПа, коэффициентом фильтрации до 0.3 м/сут,  $K_o$ –3.5.

#### *Отложения III (ходынской) надпойменной террасы (a,f IIIhd)*

В геологическом строении III надпойменной террасы участвуют те же литологические типы и разновидности четвертичных отложений, которые слагают II надпойменную террасу: пески мелкие и средней крупности, прослой суглинков и супесей. Они характеризуются показателями свойств близкими (сходными) с показателями свойств грунтов II надпойменной террасы, которые приведены выше.

#### *Ледниковые отложения днепровского горизонта (g II dn)*

Отложения представлены моренными суглинками буро-коричневыми от полутвердых до мягкопластичных, с дресвой и щебнем осадочных и изверженных пород до 25%, с прослоями и линзами песков средней крупности, водонасыщенными. Мощность морены 3–4 м. Плотность суглинков при естественной влажности 2.19 г/см<sup>3</sup>, естественная влажность 0.14, плотность минеральных частиц грунта  $\rho_s$  = 2.70 г/см<sup>3</sup>, плотность сухого грунта  $\rho_d$  = 1.92 г/см<sup>3</sup>, пористость 0.28. Средние значения сдвиговой прочности:  $\varphi$  = 27°,  $c$  = 0.028 МПа. Модуль деформации – 6–8 МПа. Коэффициент удельного упругого отпора – 4.0.

На рассматриваемом участке, в силу своего фрагментарного распространения данные отложения не могут являться местным водоупором для грунтовых вод.

#### *Нерасчищенные аллювиально-флювиогляциальные отложения (a,f II ok-dn)*

Данные отложения подстилают аллювиальные отложения четвертичной долины р. Нищенка и целиком выполняют эрозионный врез ее дочетвертичной долины. Вскрытая мощность отложений 20–25 м, они повсеместно распространены на участке строительства, залегают на эродированной поверхности юрских отложений. Представлены преимущественно песками от пылеватых до гравийных, с включением гальки, которые местами замещаются прослоями и линзами суглинков от полутвердых до текучепластичных. Толща является водонасыщенной. Плотность песков примерно одинакова и составляет 2 г/см<sup>3</sup> при среднем коэффициенте пористости  $e$  = 0.55–0.60. Коэффициент фильтрации изменяется в зависимости от гранулометрического состава песков от 11 м/сут – для пылеватых разностей, до 50 м/сут – для гравийных песков. Сдвиговая прочность водонасыщенных песков колеблется в пределах  $\varphi$  = 32–34°,  $c$  = 0.001–0.002 МПа. Модуль деформации изменяется от 23 до 40 МПа. Коэффициент удельного отпора – 3.0. Пески неоднородны, следовательно фильтрационно неустойчивы (суффозионноопасны). Пылеватые разности песков с учетом водонасыщенного состояния характеризуются динамической (вибрационной) неустойчивостью.

Источником вибрационных нагрузок при строительстве и эксплуатации сооружений и метрополитена может быть рельсовый транспорт, характеристики воздействия которого приведены в таблице.

Характеристики вибрационного воздействия рельсового транспорта (метрополитена) на грунты

Источник	Доминирующие частоты, Гц	Виброскорость частиц грунта,		Виброускорение частиц грунта,		Зона влияния, м
		$10^{-3}$ м/с	дБ	м/с	дБ	
Метрополитен	30–60	0.3–300	75–135	10–1800	90–135	6–120

#### *Коренные породы на участке строительства Кожуховской линии*

Толща коренных пород сверху вниз представлена верхнеюрскими глинистыми образованиями ( $J_3$ ), подстилаемыми песчаными отложениями средней юры ( $J_2$ ), которые выполняют древнюю доюрскую палеодолину р. Нищенка. Породы верхней юры представлены черными слюдястыми глинами и суглинками с включениями фауны и стяжениями пирита. Мощность отложений 8–10 м. Стратиграфически они могут быть отнесены к оксфордскому ярусу ( $J_3$  ox). В геологическом разрезе отложения верхней юры являются относительно сохранными и характеризуются следующими показателями свойств: консистенция от полутвердой до тугопластичной, плотность влажного грунта 1.70–1.85 г/см<sup>3</sup>, плотность сухого грунта 1.20–1.35 г/см<sup>3</sup>, естественная влажность в среднем 0.4, пористость 0.51–0.55, угол внутреннего трения 17–20°, сцепление 0.04–0.05 МПа, модуль общей деформации ~ 5 МПа. Глины набухающие с показателями свободного набухания: влажность  $W_{sw} = 0.5$ , деформация  $\delta_{sw}$  – до 0.15, давление  $p_{sw}$  – до 0.15 МПа, т.е. по отдельным испытаниям глины относятся к категории сильно набухающих. Глины являются региональным водоупором для комплекса четвертичных водоносных горизонтов.

Залегающие ниже отложения москворецкой толщи средней юры мощностью 5–7 м и более представлены речными песками: темно серыми, кварцевыми, разнородными с углистыми включениями.

Ниже по разрезу юрские отложения подстилаются толщей терригенно-карбонатных пород верхнего карбона. Последние, в соответствии с проектными решениями, не будут взаимодействовать с сооружениями метрополитена.

#### *Коррозионные свойства грунтов*

Оценка коррозионных свойств грунтов по отношению к свинцовой и алюминиевой оболочкам, в соответствии с ГОСТ 9.015–74, показывает:

– суглинки в разрезах II и III надпойменных террас имеют высокую степень коррозионной

активности по отношению к свинцу и среднюю степень – по отношению к алюминию;

– моренные валунные суглинки (g Pdн) характеризуются средней степенью коррозионной активности по отношению к свинцу и высокой степенью по отношению к алюминию;

– аллювиально-флювиогляциальные пылеватые пески (a,f Пок-дн) имеют среднюю степень коррозионной активности по отношению к свинцу и среднюю – высокую степень по отношению к алюминию.

Пески средней крупности того же возраста характеризуются низкой степенью коррозионной активности по отношению к свинцу и средней – высокой степенью коррозионной активности по отношению к алюминию.

На рассматриваемой территории строительства возможен высокий уровень электрокоррозионного воздействия грунтов на металлические конструкции за счет блуждающих токов, создаваемых различными источниками, в том числе электрофицированными железными дорогами Казанского и Курского направлений, промышленными предприятиями и станциями катодной защиты.

Водоносные горизонты комплекса четвертичных отложений безнапорные, не агрессивные по отношению к бетону.

Территория строительства новой линии метрополитена характеризуется наличием крупных скважинных водозаборов с отбором подземных вод из толщ карбона объемом от 2000 до 6000 м<sup>3</sup>/сут.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голодковская Г.А., Елисеев Ю.Б. Геологическая среда промышленных регионов: М.: Недра, 1989. 220 с.
2. Котлов Ф.В. Изменения природных условий территории Москвы под влиянием деятельности человека и их инженерно-геологическое значение: М.: Изд.-во АН СССР, 1962. 263 с.
3. Москва: геология и город / Гл. ред. В.И. Осипов, О.П. Медведев. М.: АО “Московские учебники и Картолитография”, 1997. 400 с.

## ENGINEERING GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SOILS ALONG THE ROUTE OF THE NEW KOZHUKHOVSKAYA LINE OF MOSCOW METRO

**V. I. Osipov, Yu. A. Mamaev, A. A. Yastrebov, L. V. Kanaeva**

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences  
Ulanskii per., 13, bld. 2. Moscow, 101000 Russia. E-mail: mamaev47ya@mail.ru*

Engineering geological conditions are characterized briefly in the area of construction of the new Kozhukhovskaya metro line in the east of Moscow. The peculiarities of geological profile along the route are considered. The generalized features of composition, state and properties of soils important for the designing and construction of underground facilities are given.

**Keywords:** *geological structure, physico-mechanical and corrosion properties of soils.*