**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 8, № 1, 2017
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.12

УДК 69:624.131.221(470.45-25)

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА НА МАЙКОПСКИХ ГЛИНАХ ВОЛГОГРАДА

С.В. Кузнецова, С.И. Махова

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 30 декабря 2016
Принята: 10 января 2017
Опубликована: 30 марта 2017

Ключевые слова:

майкопские глины, физико-механические свойства, набухание, усадка, геологические процессы, оползни, фундаменты свайные, плитные, инженерно-геологическое районирование

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены условия залегания майкопских глин города Волгограда в пределах Приволжской возвышенности. Характерной особенностью данной территории, вызванной засушливостью климата, низкой увлажненностью грунтов, является высокая чувствительность глинистых грунтов к изменению влажности. Майкопские глины относятся к набухающе-усадочным грунтам. В естественных условиях они находятся выше уровня грунтовых вод. Их консистенция твердая и полутвердая. При увлажнении глин (на застроенных территориях) отмечаются их набухание и снижение модуля деформации в 1,5–2,0 раза. В единичных случаях наблюдаются процессы термоусадки майкопских глин в основании объектов с горячим технологическим процессом. В пределах жилой зоны на территории, расчлененной оврагами, происходит процесс оползания майкопских глин, вызванный повышением уровня грунтовых вод и обводнением пород, реже в откосах открытых выемок. В последние годы в Волгограде идет интенсивное освоение районов распространения майкопских глин и песчаных пород ергенинской свиты, перекрытых лессовыми породами. В качестве примера рассмотрены результаты инженерно-геологических изысканий для объекта «Многоэтажные жилые дома № 1–12 по ул. Тормосиновской севернее квартала 06-08-074 Советского района г. Волгограда». На основе анализа инженерно-геологических условий, состава и свойств грунтов проектируемого жилого комплекса выделены участки по условиям применения различных типов фундаментов.

© ПНИПУ

© Кузнецова Светлана Васильевна – доктор геолого-минералогических наук, профессор, e-mail: kuznecovasv2015@mail.ru.
Махова Светлана Ивановна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, e-mail: Sv_kgm@mail.ru.

Svetlana V. Kuznetsova – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, e-mail: kuznecovasv2015@mail.ru.
Svetlana I. Makhova – Ph.D. in Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, e-mail: Sv_kgm@mail.ru.

ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONSTRUCTION CONDITIONS ON MAIKOP CLAYS OF VOLGOGRAD

S.V. Kuznetsova, S.I. Makhova

Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 30 December 2016
Accepted: 10 January 2017
Published: 30 March 2017

Keywords:

Maikop clays, physical and mechanical properties, swelling, shrinkage, geological processes, landslides, pile and slab foundations, engineering-geological zoning

ABSTRACT

The paper considers the occurrence conditions of Volgograd Maikop clays within the Volga Upland. A characteristic feature of the territory of Volgograd caused by the aridity of the climate control the same, low moisture of soils is the high sensitivity of clay soils to moisture changes. The Maikop clays belong to naujausi-shrink soils. Under natural conditions, these clays are above the groundwater level. The consistency of their solid and semi-solid. When wet clay (Tysmenytsya district is EQ-tary territories) celebrated their swelling and reduction of the deformation modulus 1.5–2.0 times. In rare cases, there are processes of shrinking of the Maikop clays in the OS the basis of the objects with hot process. Within residential areas, dissected by gullies, there is a process for stabilizing the Maikop clays, caused by rising groundwater levels and flooding of rocks, rarely in braids outdoor recesses. In recent years, in Volgograd there is an intense exploration of the areas of distribution of the Maikop clays and sandy areas of distribution in the genus ergeninskiy Suite, covered with loess rocks. As an example we considered the results of engineering and geological surveys for the project "Multi-storey residential houses (number 1–12) in Tormosinovskaya street located to the north of the 06-08-074 quarter of the Sovetsky district of Volgograd". Based on the analysis of engineering and geological conditions, soil composition and properties of the designed residential complex, the plots were allocated based on various conditions of using different types of foundations.

© PNRPU

Майкопские глины широко распространены в пределах Приволжской возвышенности и Ергеней. Они относятся к хадумскому горизонту (нижний олигоцен) [1, 2], сложены темно-серыми тонкослоистыми глинами, с включением в выветрелой зоне гипса, ярозита, гидроокислов железа. Формирование Приволжской возвышенности и Ергеней произошло в конце олигоцена в западной части Волгоградского Поволжья при смене нисходящих тектонических движений на восходящие, в результате чего майкопские глины оказались поднятыми на поверхность. Оказавшись в континентальных условиях, глины подверглись эрозии и претерпели существенные изменения под влиянием процесса выветривания. С появлением трещиноватости начались проникновение кислорода вглубь породы и взаимодействие его с сульфидами и карбонатами с образованием крупных кристаллов гипса, ярозита и сернокислого железа [3].

Первые детальные инженерно-геологические исследования в Волгоградской области в 1934–1938 гг. были связаны с изысканиями для обоснования проекта канала Волго-Дон (в конце 40-х – начале 50-х гг. прошлого столетия) для строительства Сталинградской ГЭС [1, 4, 5]. Изыскания проводились инженерно-геологическими экспедициями института «Гидропроект» [1], на базе которых позже был создан волгоградский филиал института «Гидропроект», в 1971 г. преобразованный в институт «Гипроводстрой». В результате изысканий было установлено, что майкопские глины залегают в основании этих сооружений и для них характерны низкие показатели сопротивления сдвигу, выраженная склонность к ползучести.

Основные черты геологического строения определялись крупным сбросом с амплитудой более 200 м, проходящим в левобережной части долины р. Волги и скрытым под

современным аллювием. Сброс делит долину Волги на западную и восточную части, отличающиеся по геологическому строению. Западная (приподнятая) часть, включающая правобережье, русло реки и низкую пойму, сложена породами палеогена. Восточная (опущенная) часть приурочена к левому борту долины, сложенному четвертичными отложениями, которые подстилаются майкопскими глинами мощностью более 80 м. Четвертичные отложения выстилают дно и слагают левобережную террасу Волги [1].

В 1980 г. в Волгоградском государственном архитектурно-строительном университете (ВолгГАСУ) была впервые составлена карта инженерно-геологического районирования Нижнего Поволжья и прилегающих территорий, в 1994 г. – карта инженерно-геологического районирования Волгоградской области в масштабе 1:500 000 и карта инженерно-геологического районирования Волгоградской городской агломерации в масштабе 1:50 000. Выделенные типы инженерно-геологических районов различаются не только по геологическому строению, но и по рельефу, гидрогеологическим условиям, составу и свойствам пород, что создает существенно различные условия для протекания геологических процессов и является необходимым условием типизации геологической среды с целью прогноза ее изменений [6].

В пределах Волгограда Приволжская возвышенность простирается в меридиональном направлении вдоль правого берега Волги и представлена крутым и коротким Волжским склоном с отметками поверхности 27–154 м. Водораздельное пространство между Волгой и Доном – это плоские или слабовыпуклые плато с отметками поверхности 154–140 м в южном направлении, снижающимися до 85 м. Водораздел удален от р. Волги на 13–19 км в северных районах города, а в южных он находится на расстоянии 3–5 км. Соответственно, изменяется и крутизна склонов: севернее р. Отрада – 3–4°, а южнее – 6–7°. Исключение составляет Мамаев курган, где крутизна склонов достигает 8–9° [2].

Для Волжского склона Приволжской возвышенности характерна значительная расчлененность, глубина которой достигает 120 м. В бортах балок и оврагов на поверхность местами выходят майкопские глины, в верхней части элювиированные или перекрытые отложениями неогеновой и четвертичной систем. Ниже залегают киевские (ельшанские) слои эоцена, подстилаемые отложениями мечеткинской свиты палеогена.

Характерной особенностью территории Волгограда, вызванной засушливостью климата, низкой увлажненностью грунтов, является высокая чувствительность глинистых грунтов к изменению влажности. Майкопские глины относятся к набухающе-усадочным грунтам. В естественных условиях эти глины находятся выше уровня грунтовых вод. Консистенция их твердая и полутвердая. При увлажнении глин (на застроенных территориях) отмечаются их набухание и снижение модуля деформации в 1,5–2,0 раза.

На освоенных площадях появились спорадически распространенные воды в элювиированной зоне майкопских глин, вызывая подтопление сооружений. Таким образом, районы распространения майкопских глин потенциально подтопляемые. Коррозионная активность у майкопских глин изменяется от средней до весьма высокой с преобладанием повышенной степени коррозионной активности.

В единичных случаях отмечаются процессы термоусадки майкопских глин в основании объектов с горячим технологическим процессом [6].

В пределах селитебной зоны на территории, расчлененной оврагами, наблюдается процесс оползания майкопских глин, вызванный повышением уровня грунтовых вод и обводнением пород, реже – в откосах открытых выемок [1, 7].

В последние годы в Волгограде идет интенсивное освоение районов распространения майкопских глин и районов распространения песчаных пород ергенинской свиты, перекрытых лессовыми породами. В Советском, Дзержинском административных районах уже построены огромные жилые комплексы и отдельные жилые дома, продолжаются работы по проектированию новых объектов жилой застройки.

В качестве примера рассмотрим результаты инженерно-геологических изысканий для объекта «Многоэтажные жилые дома № 1–12 по ул. Тормосиновской севернее квартала 06-08-074 Советского района г. Волгограда», выполненные ООО «Радиян» в апреле – июне 2015 г. (рис. 1).

Рис. 1. Схема расположения исследуемого объекта
Fig. 1. Scheme of the studied place

Основными целями работы стали выявление закономерностей изменения инженерно-геологических условий в основании сооружений и выбор типа фундамента.

Рассматриваемый объект в соответствии со схемой инженерно-геологического районирования [6] находится в пределах района распространения глин майкопской серии олигоцена, преимущественно перекрытых лессовыми породами и на северо-западе в пределах района распространения песчаных пород ергенинской свиты.

Площадка жилого комплекса площадью 0,9 км² свободна от застройки, по периферии пересечена трассами наземных и подземных действующих и недействующих инженерных коммуникаций (водопровод, канализация, газопровод), линиями электропередач. На отдельных участках встречаются заросли кустарниковой и древесной растительности.

В соответствии с инженерно-геологическими условиями территория жилого комплекса делится на две части – восточную и западную. Категория сложности инженерно-геологических условий в соответствии с СП 11-105-97, ч. I, прил. Б и СП 11-105-97, ч. II, п. 8.1.11 – сложная (III).

В геоморфологическом отношении территория комплекса расположена в пределах Волжского склона Приволжской возвышенности. Рельеф восточной части площадки с общим уклоном в юго-восточном направлении в сторону р. Волги характеризуется отметками 110,76–122,46 м, западной части – 124,0–133,79 м городской системы высот, осложнен навалами грунта, выемками различной глубины.

В геологическом строении исследуемой территории до глубины 25–40 м принимают участие отложения четвертичной, неогеновой и палеогеновой систем (рис. 2).

a

b

Рис. 2. Инженерно-геологические разрезы территории жилого комплекса:

a – восточная часть; б – западная часть

Fig. 2. Engineering-geological sections of the residential complex,

a – is the Eastern part; b – is the Western part

Четвертичные отложения представлены *современными насыпными грунтами* tQ_{IV} , которые распространены в пределах всей территории. Грунты характеризуются неоднородным составом и плотностью. Состав насыпных грунтов представлен преимущественно глинистыми грунтами (глины, суглинки) с включением строительного мусора, обломков кирпича, бетона, с прослоями песка. Толщина слоя составляет 0,5–6,5 м.

Пески ергенинской серии N_{2e} распространены в пределах западной части территории в районе домов № 7–11 и вскрыты на глубине 0,5–4,0 м (отметки 124,15–132,24 м) под насыпными грунтами. Они представлены песками мелкими, белыми, светло-серыми, желтовато-серыми и светло-коричневыми, малой степени водонасыщения выше уровня грунтовых вод (УГВ) и водонасыщенными – ниже УГВ с включением кремнистой гальки. Максимальная толщина слоя песков отмечается на севере площадки (дом № 8) – 7,3 м, а вниз по склону в южном направлении она сокращается до 1,2 м.

Отложения майкопской серии палеогена P_{3mk} распространены повсеместно. Общая мощность майкопских глин колеблется от 3 м до 22,5 м. Поверхность глин была подвержена размыву различной степени интенсивности, в результате чего отметки кровли глин и их мощность отличаются на разных участках.

В пределах восточной части территории (дома № 1–5) глины вскрыты под насыпными грунтами на глубине 0,5–6,5 м (отметки 105,18–119,60 м) мощностью 3,0–15,9 м; в пределах западной части (дома № 7–12) – вскрыты под песками N_{2e} на глубине 0,5–9,8 м (отметки 122,75–126,28 м) мощностью 17,3–22,5 м. Глины зеленовато-серые, темно-серые, слоистые, с тонкими прослоями и гнездами алевролита и песка пылеватого, с включениями гнезд мелкокристаллического гипса, карбонатов и с пятнами ожелезнения. Для майкопских глин характерна трещиноватость, которая прослеживается по всей глубине. В зоне выветривания ширина трещин достигает нескольких сантиметров, с глубиной трещины сужаются до волосных, незаметных макроскопически в свежих образцах, но ясно проявляющихся в сухих породах. Направление трещин различное, так как происхождение их обусловлено разными причинами, в том числе и тектоническими. Состояние выветрелой зоны майкопских глин в откосах котлована под жилой дом по ул. Стройдеталь представлено на рис. 3.

Рис. 3. Майкопские глины в бортах котлована жилого дома по ул. Тормосиновской
Fig. 3. Maikop clays in the sides of the pit near the house in Tormosinovskaya street

Этот дом находится в 100 м восточнее комплекса по ул. Тормосиновской. Котлован проходил на всю мощность майкопских глин, отметка дна котлована соответствовала кровле глин киевской свиты.

Отложения киевской свиты палеогена P_{2kw} залегают повсеместно под майкопскими глинами. В пределах восточной части площадки (дома № 1–5) они вскрыты на глубине 6,3–19,3 м (отметки 102,18–105,14 м) мощностью 4,8–8,7 м; в пределах западной части (дома № 6–12) – на глубине 18,9–29,5 м (отметки 102,18–105,14 м) мощностью 7,3–10,2 м и представлены глинами опесчаненными, темно-серыми, зеленовато-серыми, трещиноватыми, слоистыми, с присыпками пылеватого песка по плоскостям наложения, с ходами илоедов, заполненными светло-серым алевролитистым материалом, с пятнами ярозита, участками ожелезненными.

Отложения мечеткинской свиты палеогена P_{2mc} подстилают повсеместно глины киевской свиты в пределах восточной части площадки (дома № 1–5) на глубине 13,6–26,5 м (отметки 94,30–97,28 м); в пределах западной части площадки (дома № 7–12) – на глубине 27,8–37,20 м (отметки 94,96–98,10 м) и представлены песчано-алевритовыми породами, неравномерно сцементированными (от несцементированных разностей – песков до более глинистых – супесей, суглинков), желтовато-серыми, зеленовато-серыми, темно-серыми с пятнами ожелезнения и ярозита, с включением щебня песчаника. Вскрытая мощность песчано-алевритовых пород на восточной площадке – 3,5–11,4 м, на западной – 0,7–5,4 м,

Гидрогеологические условия. Подземные воды в пределах восточной части площадки (дома № 1–5) вскрыты на глубине 0,1–3,6 м (отметки 109,99–121,36 м) и местами выходят на поверхность в виде родников, что приводит к заболачиванию территории. Водовмещающими породами служат насыпные грунты tQ_{IV} и трещиноватые майкопские глины. Исследуемая территория в соответствии с прил. И СП 11-105-97, ч. II по наличию процесса подтопления относится к области I (подтопленной), по условиям развития процесса подтопления – к району I-A (подтопленному в естественных условиях), по времени развития процесса – к участку I-A-1 (постоянно подтопленному).

По данным опытных наливов и откачек [8, 9], коэффициент фильтрации насыпных грунтов tQ_{IV} составил 0,40 м/сут (частные значения 0,018; 0,25; 0,0043; 0,014; 2,05; 0,1 м/сут), трещиноватых майкопских глин P_{3mk} – 0,05 м/сут (частные значения 0,0068; 0,05; 0,0033; 0,04; 0,015; 0,2 м/сут).

По данным химического анализа, минерализация подземных вод в пределах исследуемой площадки изменяется от 0,993 до 10,039 г/л (по химическому составу воды смешанного катионного и анионного состава).

Подземные воды в пределах западной части площадки (дома № 6–12) на период с июля по август 2015 г. были вскрыты на глубине 0,9–7,8 м (отметки 118,50–131,67 м). Местами они выходили на поверхность в виде родников, что привело к заболачиванию территории в районе дома № 12 у основания склона. Водовмещающими породами служат насыпные грунты tQ_{IV} , ергенинские пески N_{2e} и трещиноватые майкопские глины P_{3mk} . Приведенные уровни не являются постоянными и подвержены сезонным колебаниям с амплитудой до 1,0–1,5 м. Питание водоносных горизонтов происходит за счет подтока со стороны склона, инфильтрации атмосферных осадков, утечек из водонесущих коммуникаций существующей застройки, полива зеленых насаждений на прилегающей территории и т.п. Разгрузка водоносных горизонтов происходит в направлении рек Волги и Купоросной. Водоупором служат относительно плотные разности глин P_{3mk} и P_{2kw} .

Анализ данных результатов изысканий прежних лет (1994–2012 гг.) показал, что за этот период значительных изменений в глубине залегания уровня подземных вод не произошло как в пределах восточной части площадки, так и в пределах западной части. Положение УПВ изменяется в пределах амплитуды сезонных колебаний.

Состав и физико-механических свойств майкопских глин P_{3mk} . По результатам лабораторных исследований, грунты восточной части площадки – глины, по показателю текучести – полутвердые, среднее значение влажности – 0,42, плотности – 1,70 г/см³, влажности на границе текучести – 78 %, на границе раскатывания – 36 %.

Расчетные значения характеристик сопротивления неконсолидированному срезу глин P_{3mk} в условиях водонасыщения составляют $\varphi_I = 14^\circ$, $C_I = 54,2$ кПа.

Расчетные значения характеристик сопротивления консолидированному срезу после водонасыщения составляют $\varphi_{II} = 8^\circ$, $C_{II} = 65,9$ кПа. Модуль деформации по результатам компрессионных испытаний при природной влажности составил 10,3 МПа, в условиях водонасыщения – 3,6 МПа. По результатам штамповых испытаний ($S = 5000$ см²) глин выше УПВ на площадке-аналоге, модуль деформации равен 12,3 МПа, по результатам штамповых испытаний ($S = 600$ см²) на площадке-аналоге с учетом переходного коэффициента $mk = 1,3$, модуль деформации в водонасыщенном состоянии составляет 4,7 МПа.

По результатам лабораторных исследований грунтов западной части площадки, глины тяжелые, по показателю текучести – полутвердые, среднее значение влажности – 0,40, плотности – 1,72 г/см³, влажности на границе текучести – 75 %, на границе раскатывания – 34 %.

Расчетные значения характеристик сопротивления неконсолидированному срезу глин в условиях водонасыщения составляют $\varphi_I = 11^\circ$, $C_I = 45,6$ кПа, которые рекомендуются для оценки устойчивости стенок котлованов.

Расчетные значения характеристик сопротивления консолидированному срезу после водонасыщения составляют $\varphi_{II} = 9^\circ$, $C_{II} = 62,1$ кПа. Модуль деформации глин по результатам компрессионных испытаний при природной влажности составил 7,7 МПа, в условиях водонасыщения – 4,5 МПа. По результатам штамповых испытаний ($S = 5000$ см²) глин выше УПВ на площадке-аналоге, модуль деформации равен 12,3 МПа, по результатам штамповых испытаний ($S = 600$ см²) на площадке-аналоге, получен переходной коэффициент $mk = 1,3$, с учетом которого модуль деформации в водонасыщенном состоянии составляет 5,9 МПа.

По данным лабораторных исследований отдельные образцы глины при замачивании водой набухают. В табл. 1 приведены средние и предельные значения относительной деформации набухания без нагрузки и при нагрузке 0,05, 0,20 МПа, влажность набухания и давление набухания P_{sw} . По величине относительной деформации набухания без нагрузки глины изменяются от ненабухающих до сильнонабухающих. При среднем значении $\epsilon_{sw} = 0,097$ глины восточной части относятся к средненабухающим. При среднем значении $\epsilon_{sw} = 0,069$ глины западной части относятся к слабонабухающим.

При высушивании глины дают усадку, сопоставимую со значениями набухания, причем эти процессы обратимые, без ограничения циклов.

В соответствии с данными работ [7, 8], где рассмотрены майкопские глины большой мощности, в результате гипергенных процессов некогда однородные отложения майкопских глин трансформировались в неоднородную толщу, подразделяемую на три части: верхнюю, среднюю, нижнюю. Эти части различаются по показателям физических и физико-механических свойств (табл. 2).

Таблица 1

Результаты изучения относительной деформации набухания майкопских глин

Table 1

Results of studying relative deformation of swelling of Maikop clays

Наименование грунта, стратиграфический индекс	Давление на грунт, МПа			Давление набухания P_{sw} , МПа
	0,00	0,05	0,20	
	Относительное набухание ϵ_{sw} ; влажность набухания W_{sw}			
Глина P_{3mk} восточной части	Предельные значения			
	0,039–0,173; 0,57–0,71	0,009–0,048; 0,44–0,56	0,000–0,015; 0,36–0,53	0,19–0,39
	Средние значения			
	0,097; 0,62	0,021; 0,49	0,004; 0,45	0,29
Глина P_{3mk} западной части	Предельные значения			
	0,037–0,122; 0,50–0,68	0,005–0,061; 0,37–0,48	0,000–0,021; 0,31–0,47	0,12–0,40
	Средние значения			
	0,069; 0,59	0,021; 0,43	0,006; 0,40	0,32

Таблица 2

Физические и физико-механические свойства майкопских глин [8]

Table 2

Physical and physical-mechanical properties of Maikop clays [8]

Глина	Разновидности глин по характеру эпигенеза	Количество исследованных образцов	Плотность, г/см ³	Плотность скелета, г/см ³	Пористость, %	Степень влажности	Число пластичности	Прочность на одноосное сжатие, МПа	Модуль общей деформации, МПа
Майкопская (P_3mk)	Верхняя	60	1,76	1,23	55	0,87	36	0,7	7
	Средняя	143	1,85	1,26	54	0,88	35	1,5	16
	Нижняя	160	1,89	1,36	50	0,96	41	2,5	25

Для верхней части разреза майкопских глин характерно наибольшее разуплотнение, обусловленное разгрузкой и выщелачиванием гипса. В результате этого образовалась ноздреватая микроструктура с полным отсутствием в глине солей. Это обусловило преобладание в этой части разреза структурных связей коагуляционного типа [7].

Подтверждением сказанному являются относительно низкие физико-механические свойства глин и характер их деформирования при одноосном сжатии. По данным работы [8], прочность на одноосное раздавливание майкопских глин из верхней части разреза составляет в среднем 0,7 МПа, а модуль общей деформации – 7 МПа.

В средней части разреза майкопские глины отличаются от вышележащих несколько меньшей разуплотненностью, а главное – наличием гипса, неполностью вымытого из этой части разреза. Гипс встречается в двух формах: в виде отдельных кристаллов типа ласточки-на хвоста и в виде пластинчатых и игловатых кристаллов, заполняющих микротрещины.

Если первый вид гипса слабо влияет на структурные связи глины, то второй армирует глинистую породу и повышает ее прочность. В связи с этим в средней части разреза майкопских глин структурные связи обусловлены не только сохраняющимися коагуляционными контактами между глинистыми частицами, но и наличием прочных включений гипса, повышающих структурную прочность. Прочность на одноосное раздавливание глины из средней части разреза возрастает и составляет 1,5 МПа, а модуль общей деформации – 16 МПа.

Майкопские глины из нижней части разреза менее остальных претерпели воздействие процессов выветривания. В них значительно увеличилось содержание гипса, вымытого сюда из вышележащих частей толщи и отложившегося в микротрещинах в виде пластин и игольчатых кристаллов. Наличие жестких гипсовых прожилок значительно повысило ее прочность. Прочность на одноосное раздавливание глин этой разновидности составила 2,5 МПа, модуль деформации – 25 МПа [10].

В соответствии с этой характеристикой майкопские глины рассматриваемого объекта по физическим свойствам можно отнести к верхней части разреза [7, 8].

Исследования [11] в пределах городской территории показали, что средние значения показателей физических свойств и сопротивления консолидированному и неконсолидированному срезам при природной влажности и после предварительного замачивания всей толщи майкопских глин оказались настолько близкими, что в соответствии с ГОСТ 20522–95 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний» выборки по разным частям могут быть объединены в один инженерно-геологический элемент.

Минеральный состав. По минеральному составу тонкодисперсные майкопские отложения представляют собой монтмориллонитовые глины, что и обуславливает их физико-механические свойства [1].

Изучение майкопских глин под микроскопом, проведенное в лабораториях геологического института АН СССР и «Спецгео», показало, что их главной составляющей является бесструктурная глинистая масса светло-бурого или темно-коричневого цвета, состоящая из монтмориллонита, бейделлита, каолинита и других глинистых минералов, содержащая остроугольные зерна кварца неправильной формы, преобладающего размера 0,01–0,06 мм, а также рудных минералов – пирита и продуктов его выветривания. В подчиненном количестве встречаются зерна глауконита и листочки слюды. Пирит и лимонит наблюдаются либо в виде мелких зернышек, разбросанных по всему полю, либо же образуют характерные скопления (пятна) [1].

Строение глин. Микростроение майкопских глин изучалось на геологическом факультете МГУ по образцам с объекта «Жилые дома по ул. Тормосиновской». Материалы исследований предоставлены студенткой М.А. Золиной, проходившей преддипломную практику в Волгограде в организациях инженерно-геологических изысканий НВ «ТИСИЗ», ООО «Радан» и ВолгГАСУ.

Микроструктура майкопских глин до и после набухания была изучена для образцов 1, 2 и 4. РЭМ-изображения образцов до набухания представлены на рис. 4–6.

Классы микроструктур выделяют на основании морфометрического признака микроструктуры (размер и форма частиц и пор), который количественно характеризуется интегральным параметром дисперсности D , получаемым с помощью Фурье-анализа полутонных РЭМ-изображений поверхности глинистого образца [7].

Параметр дисперсности D у исследуемых образцов (см. рис. 4) варьируется в пределах 1,11–1,24, что соответствует классу крупнодисперсных микроструктур в классификации микроструктур глинистых пород по работе [7].

Рис. 4. РЭМ-изображение образца 1 (8,8–9,0 м) до набухания, увеличение – $\times 1000$
(фото М.С. Чернова, 2016 г.)

Fig. 4. REM image of sample 1 (8,8–9,0 m) before swelling, an increase of 1000
(picture of M.S. Chernova, 2016)

Подклассы микроструктур выделяются по геометрическому признаку, количественно выражающемуся величиной показателя анизотропии A , определяемого с помощью Фурье-анализа полутонковых изображений, или коэффициента анизотропии K_a , рассчитываемого по методу градиента интенсивности сигнала [7].

Состав и свойства киевских глин P_2kw и отложений мечеткинской свиты P_2mc палеогена в данной статье не рассматриваются. Как правило, они являются несущим слоем свайных фундаментов.

Образец 1 (см. рис. 4) имеет турбулентную неоднородную микроструктуру с выраженной ориентированностью агрегатов глинистого матрикса. Песчаных частиц не обнаружено, а угловатые пылеватые частицы имеют преобладающий размер до 40 мкм. Глинистые частицы контактируют по типу базис – базис. Поры встречаются как изометричные, так и анизометричные, реже – щелевидные. Размер пор находится в диапазоне 10–100 мкм: преобладающий размер изометричных пор – до 30 мкм, анизометричных – 40–60 мкм, щелевидные достигают 100 мкм.

Образец 2 (см. рис. 5) на макроуровне имеет достаточно плотную плитчатую структуру. Глинистые частицы плотно прилегают друг к другу, взаимодействуя по типу базис – базис. Пылеватых частиц и песчаных зерен не наблюдается.

Микроструктура образца 4 (см. рис. 6) характеризуется как неоднородная, турбулентная. В глинистой массе распределены пылеватые частицы и единичные песчаные зерна. И те, и другие имеют изометричную угловатую форму. Пылеватые частицы имеют размер до 50 мкм, песчаные – от 50 до 100 мкм. Глинистые частицы контактируют по типу базис – базис. Поры анизометричные и щелевидные, реже – изометричные. Размер преобладающих пор находится в диапазоне 10–100 мкм: преобладающий размер изометричных пор – 10–30 мкм, анизометричных – 40–60 мкм, щелевидных – 60–100 мкм.

Как показала практика, в аналогичных условиях наиболее надежным и эффективным способом безаварийного строительства является применение свайных фундаментов с полной прорезкой набухающих грунтов. В значительной степени длина свай зависит от мощности

Рис. 5. РЭМ-изображение образца 2 (9,8–10,0 м) до набухания, увеличение – ×1000
(фото М.С. Чернова, 2016 г.)

Fig. 5. REM image of sample 2 (9,8–10,0 m) before swelling, an increase of 1000
(picture of M.S. Chernova, 2016)

Рис. 6. РЭМ-изображение образца 4 (16,8–17,0 м) до набухания, увеличение – ×1000
(фото М.С. Чернова, 2016 г.)

Fig. 6. REM image of sample 4 (16,8–17,0 m) before swelling, an increase of 1000
(picture of M.S. Chernova, 2016)

майкопских глин. В пределах восточной части территории (дома № 1–5) глины вскрыты под насыпными грунтами на глубине 0,5–6,5 м (отметки 105,18–119,60 м) мощностью 3,0–15,9 м; в пределах западной части (дома № 6–12) – вскрыты под песками N_{2e} на глубине 0,5–9,8 м (отметки 122,75–126,28 м) мощностью 17,3–22,5 м. Наиболее эффективным и экономичным является использование буронабивных и вдавливаемых свай с заглублением в киевские глины [12]. В случае неполной прорезки сваями набухающих глин или недостаточного заглубления в подстилающие породы могут происходить вы-

пор свай и, как следствие, деформация сооружений. Выпор свай наблюдается на старых заброшенных свайных полях в котлованах, например в Краснооктябрьском районе. На севере западной части территории, где вскрыты ергенинские пески мощностью до 7,0 м, возможно применение плитных фундаментов.

При освоении новых территорий распространения майкопских глин необходимо учитывать потенциальную подтопляемость территорий [13]. При любом виде освоения могут развиваться следующие процессы и явления: появление новых водоносных горизонтов, верховодки, подтопление, набухание, термоусадка, просадка, уменьшение прочности пород, коррозия металла и бетона, оползание. В связи с этим проектированию новых массивов освоения должны предшествовать детальные инженерно-геологические изыскания в соответствии с нормативными документами.

Библиографический список

1. Геология района сооружений Волго-Дона / В.Д. Галактионов [и др.]. – М.; СПб.: Госэнергоиздат, 1960. – 416 с.
2. Кузнецова С.В., Махова С.И. Изменение инженерно-геологических условий Волгоградской агломерации под влиянием техногенной нагрузки // Антропогенная трансформация геопространства: история и современность: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. – Волгоград: Изд-во Волгоград. гос. ун-та, 2016. – С. 251-259.
3. Макеев З.А. Инженерно-геологическая характеристика майкопских глин (южная часть Волгогр. области и Центральное Предкавказье). – М.: Академия наук СССР, 1963. – 320 с.
4. Волжская ГЭС им. XXII съезда КПСС. Т. 1. Основные сооружения гидроузла. – М.; Л.: Энергия, 1965. – 648 с.
5. Горецкий Г.И. Формирование реки Волга в раннем и среднем антропогене. – М.: Наука, 1966. – 412 с.
6. Самусь Н.А., Игнатенко О.Н., Самусь А.Н. Инженерная геология Волгоградской агломерации (практический опыт). – Волгоград: Геомаркетинг, 2010, 2010. – 303 с.
7. Осипов В.И., Соколов В.Н. Глины и их свойства. Состав, строение и формирование свойств. – М.: ГЕОС, 2013. – 576 с.
8. Стешенко В.И. Исследование влияния особенностей состава и микростроения майкопских и хвалынских глин Волгоградского Поволжья на их прочностные и деформационные свойства: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – 20 с.
9. Инженерная геология и геоэкология Волгограда / В.Н. Синяков [и др.]. – Волгоград: Изд-во Волгоград. гос. арх.-строит. ун-та, 2007. – 126 с.
10. Чепрасов А.Ф. Оползни и опыт борьбы с ними. – Волгоград, 1972. – 88 с.
11. Kuznetsova S., Makhova S. The problems of foundation making in the maikop clays of the lower Volga region (by the example of Volgograd) // Procedia Engineering. – 2016. – № 150. – P. 2218–2222.
12. Агеев П.С., Рыжков Е.М. Буронабивные фундаменты в набухающих грунтах // Вопросы инженерной геологии, проектирования и строительства оснований и фундаментов в Волгоградском Поволжье / Волгоград. инженер.-строит. ин-т. – Волгоград, 1978. – С. 78-82.
13. Панова К.М. Сравнительная характеристика майкопских глин района г. Волгограда // Вопросы инженерной геологии, проектирования и строительства оснований и фундаментов в Волгоградском Поволжье. – Волгоград: ВИСИ, 1978. – 36-40 с.

References

1. Galaktionov V.D. et al. Geologiya raiona sooruzhenii Volgo-Dona [The Geology of the district structures of the Volga-Don]. Moscow, Saint Petersburg, Gosenergoizdat, 1960, 416 p.
2. Kuznetsova S.V., Makhova S.I. Izmenenie inzhenerno-geologicheskikh uslovii Volgogradskoi aglomeratsii pod vlianiem tekhnogennoi nagruzki [The change of engineering-geological conditions of the Volgograd agglomeration under the influence of technogenic load]. *Antropogennaya transformatsiya geoprostranstva: istoriya i sovremennost'. Materialy III mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Volgograd, Volgogradskii gosudarstvennyi universitet, 2016, pp. 251-259.
3. Makeev Z.A. Inzhenerno-geologicheskaya kharakteristika maikopskikh glin (iuzhnaia chast' Volgogradskoi oblasti i Tsentral'noe Predkavkaz'e) [Engineering-geological characteristics of the maikop clays (southern Volgograd region and Central Ciscaucasia)]. Moscow, Akademiya nauk SSSR, 1963, 320 p.
4. Volzhskaya GES imeni XXII s'ezda KPSS. Tom 1. Osnovnye sooruzheniya gidrouzla [The Volga hydroelectric station. XXII Congress of the CPSU. Vol. 1. The basic construction of hydropower]. Moscow, Leningrad, Energiya, 1965, 648 p.
5. Goretskii G.I. Formirovanie reki Volga v rannem i srednem antropogene [The formation of the Volga river in the early and middle quaternary]. Moscow, Nauka, 1966, 412 p.
6. Samus' N. A., Ignatenko O.N., Samus' A.N. Inzhenernaya geologiya Volgogradskoi aglomeratsii (prakticheskii opyt) [Engineering Geology of the Volgograd agglomeration (practical experience)]. Volgograd, Geomarketing, 2010, 303 p.
7. Osipov V.I., Sokolov V.N. Gliny i ikh svoystva. Sostav, stroenie i formirovanie svoystv [Clays and their properties. Composition, structure and formation properties]. Moscow, GEOS, 2013, 576 p.
8. Steshenko V.I. Issledovanie vliyaniya osobennosti sostava i mikrostroeniya maikopskikh i khvalynskikh glin Volgogradskogo povolzh'ya na ikh prochnostnye i deformatsionnye svoystva [A study of the influence of characteristics of composition and microstructure of maikop and khvalynsky clays Volga region on their strength and deformation properties]. Abstract of Ph. D. thesis, Moscow, 1982, 20 p.
9. Siniakov V.N. et al. Inzhenernaya geologiya i geoekologiya Volgograda [Engineering Geology and Geoecology Volgograd]. Volgograd, Volgogradskii gosudarstvennyi arkhitekturno-stroitel'nyi universitet, 2007, 126 p.
10. Cheprasov A.F. Opolzni i opyt bor'by s nimi [Landslides and the experience of dealing with them]. Volgograd, Nizhnevolzhskoe knizhnoe izdatelstvo, 1972, 88 p.
11. Kuznetsova S., Makhova S. The problems of foundation making in the maikop clays of the lower Volga region (by the example of Volgograd). *Procedia Engineering*, 2016, no. 150. pp. 2218-2222.
12. Ageev P.S., Ryzhkov E.M. Buronabivnye fundamenty v nabukhaiushchikh gruntakh [Drilled foundations in swelling soils]. *Voprosy inzhenernoi geologii, proektirovaniya i stroitel'stva osnovanii i fundamentov v Volgogradskom Povolzh'e*. Volgograd, Volgogradskii inzhenerno-stroitel'nyi institut, 1978, pp. 78-82.
13. Panova K.M. Sravnitel'naya kharakteristika maikopskikh glin raiona g. Volgograda [Comparative characteristics of maikop clays of Volgograd]. *Voprosy inzhenernoi geologii, proektirovaniya i stroitel'stva osnovanii i fundamentov v Volgogradskom Povolzh'e*. Volgograd, Volgogradskii inzhenerno-stroitel'nyi institut, 1978. pp. 36-40.