

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 627.8, 551.3

DOI: 10.17673/Vestnik.2017.02.2

**М.Н. БАРАНОВА
А.В. МАЛЬЦЕВ
Д.И. ВАСИЛЬЕВА**

ВЛИЯНИЕ КРУПНЫХ РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ГЕОТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЛЁССОВЫХ ГРУНТОВ

INFLUENCE OF MAJOR LOWLAND WATER BASINS ON GEOTECHNICAL STATUS OF LOESS SOILS

Широкое распространение лёссовых грунтов в степной зоне Северной Евразии является причиной частого использования их в качестве оснований для зданий и сооружений. В связи с этим важное значение имеют особенности их геотехнических свойств, отличающиеся от других типов грунтов. На европейской территории России лёссовые грунты широко распространены в среднем течении реки Волги, которая в настоящее время представляет собой каскад водохранилищ, созданных более 50 лет назад. В зоне влияния водохранилищ на крупных равнинных реках отмечается быстрое повышение уровня подземных вод, которое приводит к значительным негативным последствиям при наличии лёссовых грунтов. В пределах Самарской области расположено два крупных равнинных водохранилища на Волге (Куйбышевское и Саратовское), которые оказывают значительное влияние на окружающие территории. Описаны особые геотехнические свойства лёссовых грунтов, характерные для них геологические процессы, вещественный состав и особенности микроструктуры, а также их изменение при подтоплении. Изучено влияние подтопления на лёссовые грунты в условиях городской застройки.

Ключевые слова: лёссовые грунты, лёссы, геотехнические свойства, влияние водохранилищ, суффозия, просадочность

The prevalence of loess soils in North Eurasia steppe zone causes their frequent use as building foundations. In this regard their geotechnical features are of particular importance. In European part of Russia loess soils are widespread in mid-Volga region which present at the moment tandem reservoir system created more than 50 years ago. In reservoir area major lowland rivers show rapid increase of groundwater level that has negative consequences in the case of loess soils. In Samara region there are two great lowland water basins on Volga river (Kuibyshev and Saratov Reservoirs) which have a great impact on environment. Loess soils geotechnical features, geological processes, material composition and microstructure as well as their changes in underflooding are described. Underflooding influence on loess soils in urban development conditions are studied.

Keywords: loess soils, loess, geotechnical properties, water basins influence, suffusion, soil settlement

Лёссовые грунты широко распространены на поверхности суши, занимая почти 17 % территории России. Лёссами покрыты большие площади в Сибири, Средней Азии, Казахстане, они часто встречаются в Белоруссии, на Украине, а самая большая область, покрытая данными породами, находится в Китае. Как известно, в состоянии природной влажности эти грунты являются достаточно устойчивым основанием, но обладают уникальным свойством – просадочностью, которое проявляется при замачивании грунта. Свойства лёссовых пород необходимо учитывать при строительстве на них промышленных и гражданских

объектов, особенно на территории крупных городов в условиях повышения плотности и этажности застройки.

При сооружении водохранилищ происходит изменение уровня подземных вод в зоне влияния радиусом до нескольких километров, что особенно сильно проявляется при создании водохранилищ на крупных равнинных реках. По результатам многолетних инженерно-геологических исследований на территории города Самары выявлено, что происходит изменение свойств лёссовых грунтов в условиях повышения уровня грунтовых вод в зоне влияния крупных водохранилищ на реке Волге [1].

Изучение лёссов насчитывает более чем сто лет, и за это время было высказано множество (более 20) различных гипотез их образования. Наиболее общепринятые гипотезы объясняют возникновение лёссов эоловым (ветровым) или водным путем.

Эоловая гипотеза. Данную гипотезу впервые высказал Ф. Рихтгоффен (1877) в результате изучения лёссов Китая. Он отнес лёссы к эоловым (ветровым) отложениям, но не считал ветер единственным фактором формирования лёссовых пород. Ф. Рихтгоффен пришел к выводу, что лёссовый (пылеватый) материал переносился и откладывался ветром и дождевой водой в бессточных впадинах и удерживался там степной растительностью. Эоловая гипотеза была поддержана учеными как России, так и других стран, которые её дополнили и развили. П.А. Тутковский (1899) связывал формирование лёссов с развеванием ледниковых отложений ветрами, которые переносили пыль далеко от ледникового покрова. Американские исследователи Ф. Леверетт (1899), Т. Чемберлин (1909) и др. объясняли образование пылеватых толщ развеванием речных и водно-ледниковых отложений ближайших речных долин. В.А. Обручев (1904) связывал образование сплошного лёссового покрова на высоких элементах рельефа накоплением пыли, принесенной из отдаленных районов (т.н. экзотическая пыль). Эоловая гипотеза хорошо объясняет покровное залегание лёссов на больших территориях и подтверждается фактами быстрого накопления пылеватых осадков большой мощности в засушливых областях после пыльных бурь [2, 3].

Гипотезы водного происхождения. Сторонниками данной гипотезы были В.В. Докучаев (1892), А.П. Павлов (1898), Ю.А. Скворцов (1948) и др. Они связывали образование толщ пылеватых осадков со смывом и последующим переотложением склоновых пород, переносом и накоплением минерального материала в речных долинах и озерах, а также переносом и накоплением лёссовых отложений водно-ледниковыми потоками.

Данные гипотезы объясняют только процесс накопления пылеватых отложений, но не могут ответить на вопрос – как пылеватые осадки превратились в лёсс со свойственным ему набором признаков.

Почвенно-элювиальные гипотезы. Объясняют превращение пылеватых отложений в лёсс, независимо от способа их накопления, в результате почвообразования и выветривания [4, 5].

Свойства лёссовых грунтов зависят от вещественного и гранулометрического состава, а также от структурного и текстурного строения.

Вещественный состав определяется путем макроскопического описания и микроскопического исследования. Макроскопическое описание включает в себя цвет, структуру по дисперсности, текстуру по наблюдению над слоистостью (плитчатая или листовая отдельность при высыхании) и пластовыми образованиями (комковатые или угловатые куски).

Микроскопическое исследование позволяет ориентировочно определить минеральный состав преобладающих компонентов [6, 7].

Минеральный состав лёссовых грунтов чаще не имеет широкого разнообразия. Преобладающая масса (55–80 %) представлена кремнеземом в виде кварца или халцедона; цементирующая часть состоит из агрегатов глинистых минералов в виде гидрослюды и монтмориллонита, реже каолинита (15–30 %); примесь представлена водорастворимыми минералами, в большом количестве карбонатами, а также может присутствовать гипс, ангидрит, реже галит (5–15 %) [8, 9].

По гранулометрическому составу и числу пластичности лёссовые грунты относятся к пылеватым супесям и суглинкам. Влажность лёссовых грунтов в естественном состоянии обычно не превышает 0,08–0,16, степень влажности – менее 0,5, пористость – 40–50 %. Для них характерно наличие большого количества макропор в виде трубчатых каналов диаметром 0,1–4,0 мм, преимущественно с вертикальным расположением.

При природной влажности лёссовые грунты обладают прочностью за счет цементационных связей и способны держать вертикальные откосы высотой 10 м и более. Увлажнение лёссов приводит к растворению в них цементационных связей, при этом разрушается их макропористая текстура.

В процессе замачивания лёссового грунта может происходить значительное уменьшение его объема, что приводит к неравномерному оседанию дневной поверхности и разрушению построенных на нём сооружений. Просадкой называют быстро развивающееся опускание (осадка) дневной поверхности, вызванное резкими изменениями в структуре грунта при повышении его влажности. При этом происходит снижение прочности грунта, значительные и быстро развивающиеся деформации уплотнения. Поэтому лёссовые грунты называют просадочными [3, 10].

Кроме того, для лёссовых грунтов характерно явление суффозии, т.е. механический вынос частиц движущимися подземными водами. На берегах Куйбышевского водохранилища (в Спасском районе Республики Татарстан) при обследовании берега в 2016 г. в лёссовых толщах обнаружены суффозионные тоннели диаметром около 1 м (рис. 1).

Лёссовые грунты широко распространены на территории города Самары, который расположен на водоразделе, приводораздельном плато и надпойменных террасах рек Волги и Самары. Территория города имеет площадь 54,138 тыс. га и протянулась вдоль реки Волги на 64 км полосой до 20 км в ширину. Географические координаты города 53°14' с.ш., 50°14' в.д. Город был заложен в 1586 г. в месте впадения реки Самары в реку Волгу [1].

Наиболее низкими формами рельефа в городе являются пойменные террасы рек Волги и Самары.

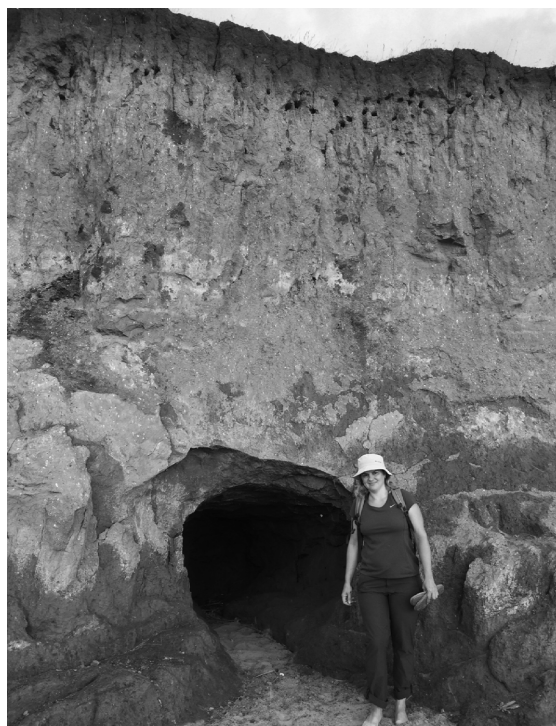
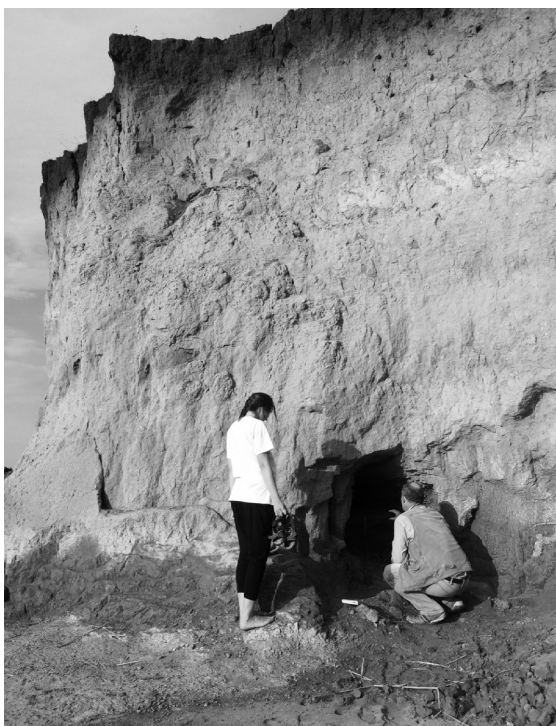


Рис. 1. Общий вид лёссовой толщи с суффозионными тоннелями
(фото Д.И. Васильевой)

С образованием Саратовского водохранилища (в 1967-1968 гг.) большая часть низкой поймы была затоплена, а также произошло постепенное поднятие уровня грунтовых вод. Саратовское водохранилище при наибольшем подпорном уровне имеет объем $12,9 \text{ км}^3$, площадь зеркала – 181 км^2 , площадь водосбора – 1280000 км^2 . Ширина водохранилища изменяется от 1 до 12 км, глубина – от 3 до 26 м. Длина по главному судоходному ходу – 336 км. Уровень воды в пределах города Самары поднялся на 5,5 м по сравнению с меженным, при этом значительно сократились площади островов и пляжей.

Левый, восточный берег Волги, на котором расположен город Самара, сравнительно низкий, его абсолютные отметки лежат в пределах 40-50 м. Наиболее широкое распространение на территории Самары в верхней части разреза имеют аллювиальные и делювиальные отложения четвертичной системы. Литологически они сложены суглинками, супесями, песками и глинами.

Делювиальные отложения склонов долин залегают выше тыловой закраины второй надпойменной террасы рек Волги, Чапаевки и Чагры в интервалах высот 60-100 м. К ним относятся склоновые шельфы, сложенные суглинками, глинами и песком с дресвой и щебнем карбонатных пород. Мощность делювиальных отложений изменяется от 1 до 16 м [1, 11].

Аллювиальные отложения образуют первую и вторую надпойменные террасы рек Волги, Самары, Чапаевки и Усы. Наибольшую площадь они зани-

мают на левобережье Волги. Верхняя часть разреза представлена глинами, суглинками и супесями с прослойками песка, нижняя часть сложена песками с включением гальки и гравия. Мощность в долине Волги достигает 45-52 м [12].

При разработке генерального плана развития города на территории Самары было выделено четыре участка распространения просадочных грунтов: первая и вторая надпойменные террасы реки Самары (район Безымянки), третья надпойменная терраса реки Волги и самарский водораздельный склон [1, 13].

Выделены два типа грунтовых условия по просадочности. На участках с первым типом просадка при замачивании под нагрузкой от собственного веса грунта не превышает 5 см. На участках со вторым типом грунтовых условий по просадочности просадка при замачивании составляет 5–20 см.

Подземные грунтовые воды на территории города представлены следующими водоносными горизонтами. Водоносный комплекс современных аллювиальных отложений приурочен к отложениям пойм рек Волги и Самары. Водоносный горизонт изучался по многочисленным колодцам и скважинам. Водовмещающими породами являются мелкозернистые пески, суглинки и супеси. Коэффициент фильтрации изменяется от 1,01 до 4,39 м/сут. Мощность водовмещающих пород колеблется от 2,0 до 11,0 м. Горизонт имеет безнапорный характер и уклон в сторону рек. Глубина залегания аллювиальных вод находится в прямой зависимости от рельефа

местности и колеблется в пределах от 1,0 до 5,0 м. Грунтовые воды по химическому составу преимущественно гидрокарбонатные, часто с повышенным содержанием сульфатов и хлоридов, магниево-кальциевые. Воды загрязнены нитратами [1]. Питание горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и подтока со стороны рек. Подземные воды четвертичных отложений пресные с минерализацией 0,3–0,7 г/л, иногда более. По химическому составу они сульфатно-гидрокарбонатные, кальциево-натриевые, иногда смешанные. Вода пригодна для питьевых и хозяйственных целей и используется из скважин и колодцев местным населением. Водообильность горизонта зависит от литологического состава пород. Питание водоносного горизонта происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и подтока из водоносного горизонта хазарской террасы [14].

Водоносный среднечетвертичный аллювиальный горизонт имеет широкое распространение. Отложения этого горизонта слагают вторую надпойменную террасу рек Волги, Самары, Чапаевки и Усы. Водовмещающими породами являются суглинки с прослоями песков и глин, в нижней части разреза с прослоями песка с гравием. Они залегают на глубине от 5,0 до 27,0 м. Мощность водовмещающего слоя изменяется от 2,0 до 56,0 м. Подземные воды безнапорные, местами напорные. Коэффициенты фильтрации, рассчитанные по данным опытных откачек, колеблются от 0,4 до 3,5 м/сут. Описываемый водо-

носный горизонт образует единую гидравлическую систему с водоносным горизонтом современных пойменных и верхнечетвертичных отложений. Питание горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и подтока из других водоносных горизонтов. Воды комплекса широко используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения, особенно на левобережье Волги [13].

В результате более чем 20 лет инженерно-геологических исследований территории города Самары просадочные грунты встречены на изучаемых площадках в разных районах города (Ленинском, Октябрьском, Кировском, Красноглинском), как на террасах рек Волги и Самары, так и на коренном склоне (рис. 2) [1]. Следует отметить, что просадочные лёссовые грунты весьма широко распространены, что значительно ухудшает качественное состояние земель [15]. Поэтому важными являются мероприятия по защите грунтов от попадания поверхностных вод [16, 17]. Их проведение является необходимым не только в районах нового строительства, но и на территории старой застройки [18,19].

Один из изученных участков располагался на второй надпойменной террасе реки Самары. Часть этой исследуемой территории занята просадочными грунтами, представленными суглинками твердой и полутвердой консистенции и твердо-пластичными супесями. Вскрытая при изысканиях нижняя граница залегания просадочной толщи изменяется от 3,0 до 12,5 м. Наиболее распространены грунты, ве-



Рис. 2. Местоположение изученных лёссовых грунтов

Таблица 1

Значения относительной просадочности и начального просадочного давления грунтов

Глубина, м	Относительная просадочность ε_{sl} при давлении p , МПа			Начальное просадочное давление p_{sl} , кПа
	0,1	0,2	0,3	
3,0–3,2	–	0,014	–	140
5,0–5,2	0,008	0,015	0,042	120
7,0–7,2	0,006	0,013	0,029	150
9,0–9,2	–	0,012	–	170
12,0–12,2	0,007	0,009	0,021	70
14,8–15,0	–	0,014	–	140

личина относительной просадочности которых при давлении $p=0,2-0,3$ МПа составляет $\varepsilon_{sl}=0,01-0,022$. Такие грунты относятся к просадочным, т.к. их величина относительной просадочности составляет $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$, а начальное просадочное давление $p_{sl}=95-220$ кПа. В основном преобладают грунтовые условия по просадочности I типа.

Локально встречаются участки с распространением просадочных грунтов, имеющих относительную просадочность при давлении $p=0,2-0,3$ МПа, равную $\varepsilon_{sl}=0,010-0,044$, начальное просадочное давление которых изменяется от 70 до 210 кПа. По относительной просадочности, согласно ГОСТ 25100-2011, данные локальные грунты отнесены к чрезвычайно просадочным. Грунтовые условия для них по просадочности относятся ко II типу (табл. 1).

В результате проведенного исследования было выявлено, что под влиянием многолетнего повышения уровня грунтовых вод произошло изменение физико-механических свойств просадочных лёссовых грунтов. Показатель текучести грунтов, имеющих значения $J_L < 0$ и $J_L = 0-0,25$, увеличился до $J_L = 0,25-0,50$, а пористость грунтов уменьшилась от значений $n=39,9-50,9$ % до значений $n=31-40$ %. Согласно классификации грунтов по показателю текучести, свойства их изменились от твердо-полутвердых до полутвердо-пластичных. Природная влажность просадочных супесей и суглинков ранее составляла 4–25 %, а затем повысилась до 12–49 %.

В процессе строительства и эксплуатации сооружения после нарушения поверхности рельефа, удаления ее гидроизоляции, при увлажнении просадочных грунтов атмосферными осадками или при техногенном замачивании возможно неравномерное оседание поверхности земли, что может привести и приводит к неравномерным деформациям сооружения.

Таким образом, на территории города в последнее десятилетие, в связи с повышением уровня подземных вод в зоне влияния крупного водохранилища на реке Волге, наблюдается повышение нижней границы распространения просадочной толщи и уменьшение ее мощности. Для нового строительства этот процесс оказывает положительное влияние, а для уже существующих зданий и сооружений – от-

рицательное из-за ухудшения физико-механических свойств грунтов за счет увеличения их влажности.

Необходимо учитывать данное изменение свойств просадочных лёссовых грунтов при планировании использования территории города в условиях современного роста плотности и этажности городской застройки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильева Д.И., Баранова М.Н., Какутина О.М., Шиманчик И.П. Геологическое строение и почвенный покров территории г.о.Самара. Самара: Изд-во «Самарский муниципальный институт управления», 2011. 167 с.
2. Лёссовые породы СССР. Т. 1. Инженерно-геологические особенности и проблемы рационального использования / под ред. Е.М. Сергеева, А.К. Ларионова, Н.Н. Комиссаровой. М., 1996. 273 с.
3. Пантюшина Е.В. Лёссовые грунты и инженерно-геологические методы устранения их просадочных свойств // Ползуновский вестник. 2011. №1. С.127-130.
4. Antoine P. 2002. Les loess en France et dans le Nord-Ouest européen. Revue Française de Géotechnique 99, 3-21.
5. Лёссовые породы СССР. Т. 2. Региональные особенности / под ред. Е.М. Сергеева, В.С. Быковой, Н.Н. Комиссаровой. М., 1986. 276 с.
6. Основания и фундаменты: справочник / Г.И. Швецов, И.В. Носков, А.Д. Слободян, Г.С. Госькова; под ред. Г.И. Швецова. М.: Высш. шк., 1991. 383 с.
7. Andersen B.J. & Borns H.W. 1997. The Ice age of World. Scandinavian University Press, Oslo.
8. Кригер Н.И. Лёсс. Формирование просадочных свойств. М.: Наука, 1986.
9. Швецов Г.И. Лёссовые породы Западной Сибири и методы устройства оснований и фундаментов: монография. М.: Высшая школа, 2000. 244 с.
10. Крутов В.И., Ковалев А.С., Ковалев В.А. Проектирование и устройство оснований и фундаментов на просадочных грунтах. М.: АСВ, 2016. 539 с.
11. Какутина О.М. Исследование инженерно-геологических условий территории строительства в Клявлинском районе Самарской области // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сбор-

ник статей / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, В.П. Попова; СГАСУ. Самара, 2015. С. 302-306.

12. Мальцев А.В., Яковлев В.Н., Тимченко Е.В., Трезуб Н.В. Геологические факторы коммунальных аварий города Самары // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сборник статей / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, В.П. Попова; СГАСУ. Самара, 2015. С. 287-294.

13. Баранова М.Н., Васильева Д.И. Геолого-геоморфологическое районирование на территории Самары // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сборник статей [Электронный ресурс] / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, В.П. Попова; СГАСУ. Самара, 2016. С. 189-193 (дата обращения: 10.04.2017).

14. Мальцев А.В., Чижкова Я.А., Аглашова И.А. Актуальные задачи геотехнического мониторинга системы «сооружение-основание» // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сборник статей [Электронный ресурс] / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, В.П. Попова; СГАСУ. Самара, 2016. С. 211-214 (дата обращения: 10.04.2017).

15. Воронин В.В., Власов А.Г., Васильева Д.И., Мост Е.С. Экологическое состояние и качество земель Самарской области // Экология урбанизированных территорий. 2013. № 4. С. 76-86.

16. Бальзанников М.И., Кругликов В.В., Михасек А.А. Обеспечение защиты городских территорий от затопле-

ния паводковыми водами // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №11. С. 61-64.

17. Бальзанников М.И., Кругликов В.В., Михасек А.А. Противопаводковый контур жилого района // Градостроительство и архитектура. 2013. №2 (10). С.59-74. DOI: 10.17673/Vestnik.2013.02.12.

18. Васильева Д.И. Геологические условия строительства Самарской крепости XVIII века на Хлебной площади г.о. Самара // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сборник статей / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, В.П. Попова; СГАСУ. Самара, 2015. С. 252-257.

19. Баранова М.Н., Мальцев А.В., Васильева Д.И. Влияние геологических и геоморфологических факторов на строительство Самарской крепости XVIII века // Строительство и архитектура. 2015. № 3 (20). С. 6-12.

Об авторах:

БАРАНОВА Маргарита Николаевна

кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Самарский государственный технический университет Архитектурно-строительный институт 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 242-17-84 E-mail: mnbaranova@yandex.ru

МАЛЬЦЕВ Андрей Валентинович

кандидат технических наук, заведующий кафедрой инженерной геологии, оснований и фундаментов Самарский государственный технический университет Архитектурно-строительный институт 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 242-17-84

ВАСИЛЬЕВА Дарья Игоревна

кандидат биологических наук, доцент кафедры землеустройства и кадастров Самарский государственный экономический университет 443090, Россия, г. Самара, ул. Советской Армии, 141, тел. (846) 933-87-33 E-mail: vasilievadi@mail.ru

BARANOVA Margarita N.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Geology and Foundation Engineering Chair Samara State Technical University Institute of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 242-17-84 E-mail: mnbaranova@yandex.ru

MALTSEV Andrey V.

PhD in Engineering Science, Head of the Geology and Foundation Engineering Chair Samara State Technical University Institute of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 242-17-84

VASILYEVA Daria I.

PhD in Biology, Associate Professor of the Land Planning and Registry Chair Samara State University of Economics 443090, Russia, Samara, Sovetskoy Armii str., 141, tel. (846) 933-87-33 E-mail: vasilievadi@mail.ru

Для цитирования: Баранова М.Н., Мальцев А.В., Васильева Д.И. Влияние крупных равнинных водохранилищ на геотехническое состояние лёссовых грунтов // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, №2. С. 9-14. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.02.2. For citation: Baranova M.N., Maltsev A.V., Vasilyeva D.I. Influence of major lowland water basins on geotechnical status of loess soils // Urban Construction and Architecture. 2017. V.7, 2. Pp. 9-14. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.02.2.