ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

DOI 10.15593/2409-5125/2018.01.11

УДК 624.131.6

О.А. Маковецкий

ОАО «Нью Граунд»

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОДТОПЛЕНИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Надежность сооружения к нормальной эксплуатации в течение длительного времени является основным показателем качества строительного объекта. Гарантированный уровень надежности геотехнической системы может быть обеспечен следующими факторами: соответствием принятых схем и методов расчета схемы основания – подземная часть здания действительным условиям и достоверностью описания инженерно-геологических условий строительной площадки, а также исходных материалов о физико-механических характеристиках грунтов оснований с учетом происхождения грунтов, условий их естественного залегания, структуры и сложения. На изменчивость физико-механических характеристик грунтов существенно влияют природно-климатические факторы, главным из которых является воздействие подземной воды.

В статье изложены климатические и инженерно-геологические условия г. Перми, оцениваются основные причины подъема уровня грунтовых вод и условия их залегания. Приведены данные натурных наблюдений за динамикой подъема уровня грунтовых вод и связанных с ним изменений физико-механических свойств характерных грунтов. Проведен анализ изменения деформационных свойств аллювиально-делювиальных суглинков во времени.

Для оценки эффективности геотехнических мероприятий при строительстве на сильно сжимаемых грунтовых основаниях требуется совместный прогноз напряженно-деформируемого состояния системы «основание–фундамент–подземная–надземная части здания» с учетом возможного изменения деформационных характеристик грунтов во времени. Рассмотрена методика оценки уровня надежности грунтового основания на основе нормального закона распределения составляющих резерва сопротивления и выполнена количественная оценка снижения уровня надежности грунтового основания при уменьшении модуля общих деформаций. Приводится положение о необходимости применения инженерного метода оценки уровня надежности геотехнической системы с учетом проведения работ по улучшению деформационных свойств грунтов.

Ключевые слова: грунтовое основание; техногенное подтопление; геомеханические процессы; уровень надежности.

Маковецкий О.А. Оценка влияния подтопления городских территорий на изменение физико-механических свойств грунтов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 1. – С. 148–159. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.01.11

Makovetskiy O. Evaluation of the effect of flooding of urban areas on the change of physical-mechanical properties of soils. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2018. No. 1. Pp. 148-159. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.01.11

Надежность или, иными словами, пригодность сооружения к нормальной эксплуатации в течение длительного времени является основным показателем качества строительного объекта. Высокий уровень надежности может быть обеспечен следующими факторами: соответствием принятых схем и методов расчета системы основание – подземная часть здания действительным условиям и достоверностью описания инженерно-геологических условий строительной площадки, а также исходных материалов о физико-механических характеристиках грунтов оснований с учетом происхождения грунтов, условий их естественного залегания, структуры и сложения. Это достигается изучением развития во времени природных физических процессов, влияющих на изменчивость нагрузок, воздействий, физико-механических показателей материалов конструкций и грунтов оснований.

Развитие этого пути может являться основой для создания физической теории надежности изменения свойств грунтов во времени, позволяющей прогнозировать их характеристики на длительный срок существования строительного объекта, с учетом фактических изменений и развития процессов их существования во времени под воздействием природно-климатических и техногенных факторов.

Необходимость и важность оценки изменчивости свойств грунтов впервые была отмечена в 1937 г. в работе Г.И. Покровского [1]. В последующие годы это направление (теоретические основы и практические методы учета изменчивости свойств грунтов) получило развитие в трудах М.Н. Гольдштейна [2], Н.А. Ермолаева и В.В. Михеева [3], Н.Н. Маслова [4] и др.

На изменчивость физико-механических характеристик грунтов существенно влияют природно-климатические факторы, главным из которых является воздействие воды.

Воздействие воды (техногенной, грунтовой, поверхностной) выражается в следующем [2]:

- в ухудшении физико-механических (прочностных и деформативных) свойств грунтов под влиянием увеличения влажности;
- в снижении объемного веса грунта, расположенного ниже уровня грунтовых вод;
- в изменении влажности грунтов при изменении количества попадающей в грунт воды в течение года. Режим увлажнения и влажность грунтов при этом будет зависеть от количества выпадающих осадков, уровня грунтовых вод, уровня воды в открытых водоемах, от фильтрационных свойств грунтов и др.;
- в выносе из основания мелких частиц грунта при движении грунтовой воды или утечке воды из инженерных сетей;

- в возникновении дополнительных сил обжатия грунтов под влиянием капиллярно-подвешенной воды при снижении уровня грунтовых вод;
- в образовании деформаций набухания и просадки глинистых грунтов и др.

Принято считать, что естественный режим грунтовых вод, как правило, носит устойчивый, долговременный характер и определяется космическими, климатическими и эндогенными факторами, а распространение грунтовых вод в плане на территориях, соизмеримых с размерами техногенных сооружений, относительно равномерное.

Но развитие техногенного подтопления, общий и локальный подъем уровня подземных вод является серьезной проблемой для большинства городских территорий [5].

Интенсивная застройка территорий (еще недавно с ненарушенным природным рельефом), неурегулированный поверхностный сток, утечки воды из различного вида коммуникаций, нарушение динамики движения подземных вод свайными полями приводят к резкому повышению уровня подземных вод и, как следствие, к обводнению грунтов и их деградации.

Наиболее явно такая картина проявляется для городов, расположенных на надпойменных террасах крупных рек с характерными переслоениями аллювиально-делювиальных отложений. Морфологическое строение таких территорий осложнено широко развитой сетью мелких речных долин, логов и оврагов. Для таких территорий присуще развитие не только природных экзогенных процессов, но и процессов активизированных антропогенными факторами.

К таким городам в полной мере можно отнести Пермь. Так, исследования и натурные наблюдения автора и анализ данных инженерно-геологических изысканий для строительного проектирования по ряду застроенных территорий г. Перми (микрорайоны Мотовилиха, Городские Горки, Бахаревка, Балатово), выполненных ОАО ВерхнекамТИЗИС и другими организациями, показали, что с уплотнением застройки города гидрогеологические условия существенно изменились [6–9].

Климатические и инженерно-гидрогеологические условия г. Перми. Климатические условия территории г. Перми характеризуются резкой континентальностью и большой изменчивостью погоды в многолетнем разрезе. Абсолютный минимум температуры – минус 40,7 °С, максимум – плюс 41,70 °С; амплитуда температур достигает 82,1. Среднегодовое количество осадков составляет 625 мм.

На формирование микроклимата города оказывает влияние рельеф, характер застройки, наличие зеленых зон и близость Камского водохранилища. Влияние водохранилища особенно хорошо прослеживается в части го-

рода, расположенной на первой надпойменной террасе. Среднегодовая величина испарения с поверхности суши составляет 450–500 мм. Величина испаряемости за теплый сезон (V–IX месяцы) составляет 330–420 мм. Средняя высота снежного покрова за зиму составляет 76 см, максимальная высота снежного покрова 101 см, минимальная – 56 см.

Современный рельеф территории представляет собой слабо всхолмленную денудационную равнину, являющуюся частью Прикамской возвышенности.

Непосредственно на территории г.Перми выделяются две гидрогеологические структуры III порядка – Прикамский и Предуральский артезианские бассейны. Для Прикамского артезианского бассейна, характерно наличие в разрезе часто переслаивающихся песчано-глинистых с разной степенью водообильности пород и водоупорных слоев, подстилающихся региональным водоупором – пермскими глинами.

Для Предуральского артезианского бассейна, приуроченного к северной части городской территории, характерны преимущественно слабо-дообильные и водопроницаемые песчано-глинистые и глинистые породы.

Гидрогеологические условия рассматриваемой территории представляются достаточно сложными и характеризуются наличием ряда водоносных горизонтов.

Первый из них безнапорный и приурочен к водонепроницаемым торфам и суглинкам. Величина капиллярного поднятия по суглинкам текуче-пластичным составляет 80–100 см. Второй уровень напорный и приурочен к гравийно-галечным отложениям. Высота напора – 11,5 м. Существует гидравлическая связь между указанными горизонтами.

Первый верхний водоносный уровень со свободной поверхностью подземных вод в настоящее время находится в динамике своего поведения, к этому комплексу относятся водопроявления типа верховодки.

Динамика изменения уровня первого водоносного горизонта на примере площадки наблюдения в Мотовилихинском районе показана на рис. 1.

Верховодка широко распространена по всей территории города. Обусловлена она в основном различием фильтрационных свойств верхней части разреза и обильным в некоторые периоды (в том числе связанные с техническим воздействием) питанием подземных вод. «Пятна» верховодки имеют площадь от нескольких десятков метров до нескольких десятков гектаров. В районах городской и промышленной застройки образуется техногенная верховодка. Вначале формируются «купола», которые распространяются на соседние территории. Постепенно техногенная верховодка сливается с порово-грунтовыми водами, обводняя всю толщу четвертичных отложений.

Рис. 1. Динамика изменения уровня грунтовых вод

Факторы подтопления территорий можно подразделить на природные (естественные) и техногенные (искусственные). Из природных факторов основными являются инфильтрация атмосферных осадков (дождевые и талые воды), рельеф и геолого-литологическое строение. Инфильтрации атмосферных осадков избежать невозможно, однако ее можно существенно уменьшить посредством организации поверхностного стока. Грунты, слагающие верхнюю часть разреза на территории города, большей частью тяжелого минерального состава (глины, суглинки) с низкими фильтрационными свойствами, что вызывает подпор потока грунтовых вод с вышележащих участков и способствует развитию подтопления. Существенную роль в изменении поверхностного стока атмосферных вод сыграло взятие в трубу рек Пермь и Данилихи, протекавших в центре города. Русла этих рек являлись естественным водосбором с городской территории. Определенное влияние на подтопление оказывает зарегулированность малых рек города. После строительства Камской ГЭС и заполнения Камского водохранилища уровень воды в р. Кама повысился и создал подпор потоку грунтовых вод. Это вызвало перераспределение уровней грунтовых вод на всей прибрежной территории водохранилища.

Одним из основных техногенных факторов являются утечки воды из водонесущих коммуникаций. Анализ данных по водопотреблению и водоотведению, режима формирования куполов грунтовых вод, динамики изменения химического состава подземных вод показывает, что утечки на отдельных участках территории достигают до 40 % от величины водопотребления.

Процессы, влияющие на изменчивость физико-механических свойств грунтов. Как отмечает З.Г. Тер-Мартirosян [10], геомеханические процессы, протекающие в массивах многофазных грунтов, являются наибо-

лее распространенной и активной формой проявления общих экзогенных (поверхностных) процессов в верхних слоях земной коры. Это связано с наибольшей распространенностью осадочных пород и их непосредственным контактом с атмосферой и поверхностной гидросферой, а также с активной инженерной деятельностью человека в пределах распространения осадочных толщ. При техногенном подтоплении происходит переформирование вещества в виде появления у грунтов новых признаков в составе, свойствах, изменений структуры, массы, плотности, прочности, проницаемости и т.п. Физико-химические слагаемые техногенной эволюции грунтов представлены главным образом следующими процессами: растворение твердофазовых компонентов грунтов в растворах кислот и щелочей; гидратация и гидролиз природных и искусственных силикатов и алюмосиликатов и сопутствующие процессы [12]. При воздействии сернокислых вод на глинистые грунты интенсивность и последовательность протекающих процессов в значительной степени зависят от их состава. Уменьшается плотность и прочность грунтов, а скорость фильтрации повышается. Разрушению подвергаются глинистые минералы. Комплекс протекающих процессов способствует значительному ухудшению прочностных и деформационных свойств грунтов. Щелочной гидролиз глинистых минералов и грунтов развивается при подтоплении щелочными водами. Интенсивность и направленность процессов, характер и степень их трансформации при щелочном гидролизе зависят от концентрации щелочи. Совокупность протекающих в системах процессов способствует диспергации агрегатов глинистых частиц, увеличению набухаемости грунтов в 2–3 раза по сравнению с величинами этого показателя в водной среде, уменьшению их плотности и прочности.

Подъем уровня подземных вод на значительных территориях г. Перми привел к негативным последствиям, основными из которых являются существенное ухудшение деформационных и прочностных характеристик водонасыщенных грунтов: увеличение коэффициента пористости, степени водонасыщенности, уменьшение удельного сцепления, угла внутреннего трения, модуля деформации.

В табл. 1 приведены характеристики аллювиально-делювиальных суглинков характерных площадок строительства на период 1965–1966 гг.; в табл. 2 – характеристики для аналогичных грунтов, определенные в период 1998–2000 гг. Анализ приведенных в таблицах данных показывает, что с увеличением степени водонасыщенности грунтов с значений 0,6–0,7 до значений 0,9–1,0, больше всего изменилась основная деформационная характеристика грунта – модуль деформации, он снизился 1,8–2,0 раза, и его средняя величина достигла значения 5,0–6,0 МПа.

Таблица 1

Физико-механические характеристики аллювиально-делювиальных суглинков (данные 1965–1966 гг.)

Характеристика	Микрорайон Бахаревка	ул. Тимирязева	Городские Горки – Мотовилиха				
			ул. Крупской, 41, 43, 45	ул. Студенческая, 18, 22, 24, 26	ул. Дружбы, 23, 25, 27	ул. Ким, 92	ул. Тургенева, 12, 14, 18/1
Плотность, г/см ³	1,82	1,83	1,93	1,93	1,91	1,89	1,93
Природная влажность, д. ед.	0,24	0,24	0,246	0,268	0,249	0,233	0,268
Число пластичности, д. ед.	0,13	0,101	0,121	0,150	0,117	0,127	0,147
Показатель текучести, д. ед.	0,21	0,26	0,38	0,380	0,405	0,35	0,39
Степень водонасыщенности, д. ед.	0,606	0,58	0,88	0,93	0,88	0,83	0,97
Коэффициент пористости, д. ед.	0,72	0,76	0,75	0,775	0,771	0,766	0,739
Удельное сцепление, кПа	29	25	40	40	40	35	38
Угол внутреннего трения, град	17	22	22	22	22	19	21
Модуль деформации, МПа	14	5...7	10	10	10	10	10

Таблица 2

Физико-механические характеристики аллювиально-делювиальных суглинков (данные 1998–2000 гг.)

Характеристика	Городские Горки – Мотовилиха				Микрорайон Балатово		
	ул. Уральская, 113	ул. Крупской, 43, 45	ул. Р. Землячки, 8	ул. Р. Землячки, 12	ПО «Морион»	ул. Снайперов, 9	ул. Мира, 16
Плотность, г/см ³	1,83	1,77	1,81	1,83	1,76	1,81	1,84
Природная влажность, д. ед.	0,27	0,305	0,252	0,274	0,234	0,265	0,26
Показатель текучести, д. ед.	0,58	0,715	0,58	0,64	0,702	0,66	0,82
Степень водонасыщенности, д. ед.	0,988	1,035	0,796	0,86	0,721	0,845	0,865
Коэффициент пористости, д. ед.	0,849	0,800	0,872	0,849	0,838	0,854	0,814
Удельное сцепление, кПа	20	17	22	20	11	8	5
Угол внутреннего трения, град	14	9	9	18	17	13	20
Модуль деформации, МПа	6	8,5	6,17	13	4,5	5,55	8,4

Методика прогноза и оценка влияния фактора подтопления. Для оценки эффективности геотехнических мероприятий при строительстве на сильно сжимаемых грунтовых основаниях, а именно при большой глубине залегания от поверхности слабых пылевато-глинистых водонасыщенных грунтов для высотных зданий требуется совместный прогноз напряженно-деформируемого состояния системы «основание–фундамент–подземная-надземная части здания» с учетом возможного изменения деформационных характеристик грунтов во времени [12–14].

При этом приходится учитывать поведение строительных объектов и их подземных частей под влиянием многих факторов и процессов случайной природы. Так, статистической изменчивостью обладают физико-механические свойства грунтов, случайными процессами являются воздействия геотехнической среды. Поскольку все эти характеристики, факторы и воздействия имеют случайный характер, достоверную оценку поведения строительных объектов можно осуществить лишь с использованием вероятностных методов расчета, которые являются основой теории надежности. Уровень надежности геотехнической среды в значительной степени зависит от изменчивости его деформационных характеристик [15, 16].

3. Сирожиддинов показал [17], что когда речь идет о законе распределения вертикальных деформаций, не для конкретной площадки или конкретного вида и состояния грунта, а для всей совокупности влияющих на нее параметров – грунтовых условий с их видами и состояниями, напластованиями и т.п., то наиболее достоверным законом распределения параметров, составляющих R (*внутренний фактор*) и Q (*внешний фактор*), является нормальный закон. Разность этих двух факторов определяет резерв сопротивления:

$$S = R - Q. \quad (1)$$

В этом случае расчетный уровень надежности основания можно вычислить по выражению

$$H_p = \frac{1}{2} \left[1 + F_z \left(\frac{m_s}{\sigma_s} \right) \right], \quad (2)$$

где F_z – функция Лапласа; m_s , σ_s – математическое ожидание и средне-квадратическое отклонение резерва сопротивления. В качестве резерва сопротивления принимаем разность расчетной относительной осадки основания и ее предельного значения.

Покажем, как изменится величина уровня надежности основания при снижении модуля деформации с 10,0 до 6,0 МПа при постоянном уровне уплотняющего давления 350 кПа. Результаты оценки уровня надежности грунтового основания по предлагаемому методу показаны на рис. 2.

Рис. 2. Изменение уровня надежности грунтового основания при снижении модуля общих деформаций при постоянном уровне давления

Как можно видеть, при назначении нормативного уровня надежности основания равным 0,950 он перестает быть обеспечен уже при снижении модуля деформации до значения 8,0 МПа.

Анализ деформаций сооружений, расположенных на такого рода грунтах, показал, что их характеризуют три основные особенности, специфичные для всей группы слабых грунтов, которые необходимо учитывать при проектировании сооружений:

- 1) высокая сжимаемость грунтов, приводящая к очень большим осадкам сооружений, расположенных на них и, как следствие, деформациям и авариям сооружений;
- 2) малая прочность, полное водонасыщение снижает значение прочностных характеристик слабых глинистых оснований;
- 3) большая длительность осадок, достигающая иногда нескольких десятилетий.

В большинстве случаев эти грунты нельзя использовать в качестве оснований, без проведения предварительных мероприятий, к которым относятся устройство песчаных подушек; вертикальных дрен или искусственно улучшенных оснований.

Исследуемая автором [18] система геотехнических барьеров, устраиваемых с помощью технологии струйной цементации грунта, является искусственно улучшенным основанием с проектируемыми физико-механи-

ческими характеристиками. Она устраивается в тех случаях, когда строительные свойства основания весьма неудовлетворительны, и компенсация их воздействия модификацией других компонентов геотехнической системы является нецелесообразной или экономически неэффективной.

Для его широкого практического применения требуется инженерный метод нормирования уровня надежности геотехнической системы. Существующие методы нормирования уровня надежности зданий и сооружений достаточно далеки от практического использования. Необходим новый подход, может быть, не предельно точный, но достаточно простой и пригодный для сравнительной оценки того или иного принятого конструктивного решения системы «основание – фундамент – здание», разработка которого ведется в настоящее время.

Библиографический список

1. Покровский Г.И. Исследования по физике грунтов. – М.-Л.: Гл. ред. строит. лит., 1937. – 93 с.
2. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов: (напряженно-деформативные и прочностные характеристики) – М.: Стройиздат, 1979. – 304 с.
3. Ермолаев Н.Н., Михеев В.В. Надежность оснований сооружений. – Л.: Стройиздат, 1976. – 152 с.
4. Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. – М.: Высшая школа, 1968. – 389 с.
5. Осипов В.И. Природные катастрофы на рубеже XXI века // Вестник Рос. академии наук. – 2001. – Т. 71, № 4. – С. 201–302.
6. Пономарев А.Б., Маковецкий О.А., Савинов А.В. Проблемы инженерной защиты городских территорий от подтопления // Реконструкция исторических городов и геотехническое строительство: тр. междунар. конф. по геотехнике. – М.: ACB, 2003. – Т. 2.
7. Geotechnical trends in urban terrains evolution. Geotechnical problems with man-made and man influenced grounds / A.A. Bartolomey, O.A. Makovetsky, A.B. Ponomaryov, V.G. Ofrikhter // XIII European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Prague, 2003.
8. Маковецкий О.А. Влияние изменений геологической среды на надежность системы «основание – фундамент-здание» // Инженерная геология и охрана геологической среды: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. – М.: ГЕОС, 2004.
9. Makovetsky O.A. Geotechnical problems in urban terrains/ Engineering geology for tomorrow's cites // The 10th IAEG Congress. – Nottingham, United Kingdom, 2006.
10. Тер-Мартirosян З.Г. Прогноз механических процессов в массивах многообразных грунтов. – М.: Недра, 1986. – 292 с.
11. Воронкевич С.Д., Ларионова Н.А. Физико-химические процессы техногенной эволюции грунтов // Материалы конференции геологического факультета ПГУ. – Пермь, 2000. – С. 201–205.
12. Xiangfu Chen Settlement Calculation on High-Rise Buildings. – Springer, 2011. – 450 p.
13. Тер-Мартirosян З.Г., Тер-Мартirosян А.З. Напряженно-деформированное состояние массивов грунтов под воздействием гидрогеологических факторов // Вестник МГСУ. – 2008. – № 2. – С. 150–157.
14. Poulos H. Tall buildings and deep foundations – Middle East challenges. In Mamdouh Hamza, Marawan Shahien and Yasser El-Mossallamy (Eds.) // Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Amsterdam, Netherlands: IOS Press, 2009. – 3208 p.
15. Уткин В.С. Расчет надежности грунтового основания фундамента по несущей способности (сдвигу) на стадии эксплуатации // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – № 1. – С. 90–100.

16. Phoon K.-K., Retief J.V. Reliability of geotechnical structures in ISO2394. – Matieland, South Africa, 2016. – P. 249.

17. Сирожиддинов З. Расчет и проектирование свайных фундаментов на основе теории надежности: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / МГСУ. – М., 1993. – 34 с.

18. Makovetskiy O., Zuev S. Practice device artificial improvement basis of soil technologies jet grouting // *Procedia Engineering*. – 2016. – № 165. – P. 504–509.

References

1. Pokrovskij G.I. Issledovaniya po fizike gruntov [Research on the physics of soils]. M.-L.: Gl. red. stroit. lit., 1937. 93 p.

2. Gol'dshejn M.N. Mekhanicheskie svoystva gruntov: (Napryazhenno-deformativnye i prochnostnye harakteristiki) [Mechanical properties of soils: (Stress-deformation and strength characteristics)]. M.: Strojizdat, 1979. 304 p.

3. Ermolaev N.N., Miheev V.V. Nadezhnost' osnovanij sooruzhenij. [The reliability of the bases of structures]. L.: Strojizdat, 1976. 152 p.

4. Maslov N.N. Osnovy mekhaniki gruntov i inzhenernoj geologii [Fundamentals of soil mechanics and engineering Geology]. M.: Vysshaya shkola, 1968. 389 p.

5. Osipov V.I. Prirodnye katastrofy na rubezhe XXI veka [Natural disasters at the turn of the XXI century]. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*, 2001, vol. 71, no. 4, pp. 201-302.

6. Ponomarev A.B., Makoveckij O.A., Savinov A.V. Problemy inzhenernoj zashchity gorodskih territorij ot podtopleniya. [Problems of engineering protection of urban areas from flooding] / *Rekonstrukciya istoricheskikh gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo* // *Trudy mezhdunarodnoj konferencii po geotekhnike*, t.2./ASV, Moskva, 2003.

7. Bartolomey A.A., Makovetsky O.A., Ponomaryov A.B., Ofrikhter V.G. Geotechnical trends in urban terrains evolution. Geotechnical problems with man-made and man influenced grounds / XSH-th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Prague, 2003.

8. Makoveckij O.A. Vliyanie izmenenij geologicheskoy sredy na nadezhnost' sistemy «osnovanie – fundament-zdanie». [The impact of changes of the geological environment on the reliability of system "base – Foundation-building"] // *Inzhenernaya geologiya i ohrana geologicheskoy sredy. Materialy godichnoj sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoekologii, inzhenernoj geologii i gidrogeologii*. M.: GEOS, 2004.

9. Makovetsky O.A. Geotechnical problems in urban terrains/ Engineering geology for tomorrow's cites // *The 10th IAEG Congress*, Nottingham, United Kingdom, 2006.

10. Ter-Martirosyan Z.G. Prognoz mekhanicheskikh processov v massivah mnogoobraznykh gruntov. [Forecast mechanical processes in arrays of diverse soils]. M.: Nedra, 1986. 292 p.

11. Voronkevich S.D., Larionova N.A. Fiziko-himicheskie processy tekhnogennoj ehvolucii gruntov. [Physico-chemical processes of anthropogenic evolution of soils] // *Materialy konferencii geologicheskogo fakul'teta PGU, Perm'*, 2000, pp. 201-205

12. Xiangfu Chen Settlement Calculation on High-Rise Buildings. Springer. 2011. p. 450.

13. Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie massivov gruntov pod vozdeystviem gidrogeologicheskikh faktorov [Stress-strain state of soil massifs under the influence of hydrogeological factors]. *Vestnik MGSU*. 2008, no. 2, pp. 150–157

14. Poulos H. (2009). Tall buildings and deep foundations – Middle East challenges. In Mamdouh Hamza, Marawan Shahien and Yasser El-Mossallamy (Eds.), *Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, (pp. 3173-3208). Amsterdam, Netherlands: IOS Press.

15. Utkin V.S. Raschet nadezhnosti gruntovogo osnovaniya fundamenta po nesushchej sposobnosti (sdvigu) na stadii ehkspluatatsii [The calculation of the reliability of the Foundation soil Foundation bearing capacity (shear) at the operation stage]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*, 2014, no. 1, pp. 90-100.

16. Phoon, Kok-Kwang Reliability of geotechnical structures in ISO2394 / editors, K.K. Phoon, National University of Singapore, J.V. Retief, Department of Civil Engineering, Stellenbosch University, Matieland, South Africa. 2016. p. 249.

17. Sirozhiddinov Z. Raschet i proektirovanie svajnyh fundamentov na osnove teorii nadezhnosti. [Calculation and design of pile foundations based on reliability theory]: Avtoref. diss. ... d-ra tekhn. Nauk. M.: MGSU, 1993. – 34 p.

18. Makovetskiy O., Zuev S. Practice device artificial improvement basis of soil technologies jet grouting / Procedia Engineering 165, 2016, p. 504–509.

Получено 23.01.2017

O. Makovetskiy

EVALUATION OF THE EFFECT OF FLOODING OF URBAN AREAS ON THE CHANGE OF PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF SOILS

The reliability of facilities to normal operation for a long time is the main indicator of the quality of construction of an object. Guaranteed reliability level of a geotechnical system can be ensured by the following factors: compliance of schemes and methods of calculating the scheme “foundation – underground part of the building” with actual conditions and reliability of the description of engineering-geological conditions of the building site and basic data on physical-mechanical characteristics of foundation soils taking into account the origin of soils, conditions of their natural occurrence, structure and composition. The variability of physical-mechanical characteristics of soils is significantly influenced by natural and climatic factors, the main of which is the impact of groundwater.

In the article the climatic and engineering-geological conditions of the city of Perm are described, the key causes of the rise of the groundwater level and the conditions of their occurrence are assessed. The data of field observations of the dynamics of the rise in groundwater levels and related changes of physical and mechanical properties of typical soils are given. The analysis of the change in the deformation properties of alluvial and dealluvial loams in time is carried out.

To assess the effectiveness of geotechnical measures during the construction on highly compressible soil foundations it is necessary to forecast the stress-strain state of system “base – foundation – underground part – overground part of the building” taking into account the possible change in the deformation characteristics of soil in time. The method of estimation of foundation soil reliability on the basis of the normal distribution of the resistance reserve components has been studied and soil foundation reliability reduction at the decrease of total deformation module has been quantified. A proposition is given on the need to apply an engineering method for assessing the level of reliability of a geotechnical system taking into account the work to improve the deformation properties of soils.

Keywords: soil foundation, man-induced underflooding, geomechanical processes, reliability level.

Маковецкий Олег Александрович (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент, замдиректора ОАО «Нью Граунд» (614019, г. Пермь, ул. Крондштадская, 35, e-mail: oleg-mak@inbox.ru).

Makovetskiy Oleg (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, (614019, Perm, Krondshtadskaya, 35, e-mail: oleg-mak@inbox.ru).