

Инженерно-геологические изыскания: «метод контрольной скважины»

Т.Г.РЯЩЕНКО, В.В.АКУЛОВА (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН); 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128)

Рассмотрены результаты «метода контрольной скважины» на примере площадки инженерно-геологических изысканий в г. Шелехов, где проводилось «доизучение» грунтов современного аллювиального комплекса на основе специальных лабораторных исследований их микроструктуры, состава, физико-химических, тиксотропных и реологических свойств (глубина контрольной скважины 12 м). Установлены признаки, понижающие устойчивость грунтового основания площадки. Сделаны выводы о необходимости своевременной интеграции производственных и научных материалов в процессе изысканий.

Ключевые слова: инженерно-геологические изыскания, контрольная скважина, грунт, микроструктура, состав, свойства.

Рященко Тамара Гурьевна
Акулова Варвара Викторовна



ryashenk@crust.irk.ru
akulova@ctust.irk.ru

Engineering-geological investigations: «method of monitoring well»

T.G.RYASHCHENKO, V.V.AKULOVA (Institute of the Earth's Crust SB RAS)

The article is devoted to the results of «method of monitoring well» on the case site for engineering and geological investigations in the town of Shelekhov, where additional investigations of modern alluvial complex were conducted through special laboratory tests of their microstructure, composition, physico-chemical, thixotropic and rheological properties (depth of monitoring well is 12 m). The features that reduce the soil base of the ground area have been distinguished. Conclusions of the necessary for timely integration of industrial and scientific materials in the research process have been done.

Key words: geological-engineering investigations, monitoring well, soil, microstructure, composition, properties.

В г. Екатеринбург 6–7 марта 2015 г. состоялась VII Международная научно-практическая конференция, организованная Национальной ассоциацией ученых (НАУ). Тема конференции была сформулирована следующим образом: «Отечественная наука в эпоху изменений: постулаты прошлого и теории нового времени». Науками о Земле занималась секция 24, в составе которой рассматривались проблемы, связанные с геологическими исследованиями. Авторам данной статьи неизвестно, разбирались ли на этой конференции постулаты прошлого и теории нового времени в области инженерной геологии, но специалисты осознают, что при изучении вопросов, связанных с инженерно-геологическими изысканиями, происходит своеобразное столкновение «старых» норм и правил с новыми научными разработками и возможностью их практического внедрения.

Обзор публикаций в трудах научной конференции «Сергеевские чтения» [11, 12] показал, что современное состояние инженерно-геологических изысканий в России характеризуется в большей степени недостатками,

чем достижениями. Кроме того, академиком В.И.Осиповым было отмечено, что «в стране произошло реформирование порядка лицензирования и регламентирования инженерных изысканий, но в научной среде вызывает тревогу наблюдаемый в настоящий момент процесс «либерализации» изысканий, их приведения к западным геотехническим стандартам без учета экономических, природных и климатических особенностей России, без учета сложившихся традиций, накопленного опыта и практики» [6, с. 5].

Известна цепочка: инженерно-геологические изыскания – проектирование фундамента и функциональной части сооружения – строительство объекта – эксплуатация. В последнее время участились примеры формально выполненных изысканий за счет их удешевления. В результате понизилось качество, что увеличило вероятность возникновения аварийных ситуаций.

На примере данных инженерно-геологической статистики на территории г. Ханты-Мансийск (1960–2002 гг.) приведены факты недобросовестных исследований [7].

Главные из них – некаленифицированное описание разрезов скважин, неправильный генезис грунтов, неполный объем лабораторных исследований, когда вместо реальных данных по свойствам грунтов приводятся табличные значения из справочников, СНиПов и ведомственных норм.

Подобные «недостатки» встречаются в технических инженерно-геологических отчетах на каждом шагу, в том числе и в нашем Восточно-Сибирском регионе, что, естественно, вызывает необходимость так называемого «доизучения» грунтовых толщ площадки. Так появился метод «контрольной скважины», когда для решения спорных вопросов и интеграции производственных и научных материалов дополнительно при участии сотрудников Института земной коры СО РАН (ИЗК СО РАН) производится бурение новых скважин с отбором проб грунта и последующими комплексными (с выходом за рамки стандартов) лабораторными исследованиями грунтовой толщи. Подобное «доизучение» выполнялось на объекте «Маршал» в г. Иркутск [3, 9, 10] и площадке в городе-спутнике Иркутска – Шелехов. Поскольку в первом случае материалы опубликованы, то в данной статье рассматриваются результаты контрольной скважины по второму объекту. Следует заметить, что «контрольную скважину» следовало бы заменить опорной, которая должна была существовать в процессе изысканий, а не появляться в процессе дополнительного исследования территории.

Площадка «Шелехов». Котлован для строительства 5-этажного дома в районе г. Шелехов группа специалистов посетила 19 февраля 2014 г. Глубина котлована около 2,5 м, в днище были забиты 12-метровые сваи; предполагалась их засыпка песчано-гравийно-галечной смесью, затем – создание из этой же смеси «подушки» мощностью до 1 м, в пределах которой предполагалось сооружение ленточного фундамента (рис. 1).

Выполнено опробование и детальное описание образцов грунта, вскрытого в стенках котлована. Верхняя часть разреза (до 3 м) характеризуется разнородным литологическим составом: отмечаются фациальные замещения по простиранию от связных песков до нормальных сыпучих песчаных разновидностей, залегающих в виде небольших линз. Принадлежность отложений к аллювиальному комплексу подтверждают такие признаки, как горизонтальная слоистость, ожелезнение по поверхности горизонтальных отделностей, присутствие многочисленных включений темноцветных минералов и чешуек слюды, окатанность песчаных кварцевых зерен разной крупности; кроме того, фациальная пестрота толщи также является характерной особенностью пойменного аллювия.

24 февраля 2014 г. в котловане была пробурена контрольная инженерно-геологическая скважина ШС глубиной 12 м. На забое вскрыты водонасыщенные галечники с пылевато-глинистым заполнителем, а на глубине 1,9–2,0 м – грунтовые воды (верховодка?) и

связанная с ними плывунная зона – водонасыщенные пески. Отобраны монолиты и образцы нарушенной структуры (это были дубликаты монолитов) для лабораторий ООО «Иркутскстройизыскания», где предполагалось провести комплекс стандартных определений физико-механических свойств грунтов, и ИЗК СО РАН, где были выполнены комплексные исследования, выходящие за рамки стандартов.

Разрез контрольной скважины (ШС) представлен одним геолого-генетическим комплексом (aQ_4), который содержит шесть литологических разновидностей: песок связный (ps^*), суглинок светло-коричневый с гнездами песка (gln), песок (ps), суглинок гумусированный (gln^*), песок с единичным гравием (ps^{**}), галечник с песчаным заполнителем (cg). Наибольшую мощность (6,5 м) имеет темно-серый, почти черный гумусированный суглинок старичной фации, склонный к тиксотропному разупрочнению (рис. 2).

Природная влажность грунтов контрольной скважины, которая определялась по пробам в бюксах, составляет 16,3–23,2%, консистенция преимущественно твердая, в двух случаях тугопластичная (на глубине 6,3 и 8,0 м в гумусированном суглинке); влажность водонасыщенных песков 26,8%, заполнителя в галечниках 36,0%.

Методы комплексных лабораторных исследований грунтов. В грунтоведческой группе лаборатории инженерной геологии и геоэкологии ИЗК СО РАН по образцам нарушенной структуры, отобранным в бортах котлована и контрольной скважине, определялись: гранулометрический состав пипеточным методом (применялись три способа подготовки – агрегатный, полудисперсный-стандартный, дисперсный) с расчетами различных микроструктурных параметров по методу «Микроструктура» [3, 9], емкость катионного обмена [5], содержание гумуса, набухание, усадка, пластичность и время размокания [4]. Выполнялся химический анализ водной, солянокислой и щелочной вытяжек [2]; состав глинистых минералов определялся в ИЗК СО РАН главным специалистом Т.С.Филевой методом рентгеноструктурного анализа (РСА).

Для монолитов проводились экспериментальные исследования тиксотропно-реологических свойств. Тиксотропное разупрочнение грунтов определялась на виброплощадке 435–А с частотой колебаний 50 Гц и амплитудой 0,85 мм (время вибрации 30 сек.). В качестве показателя прочности выбрано сопротивление сдвигу – τ , МПа, которое определялось до (τ_1) и после вибрационных воздействий (τ_2) в условиях быстрого сдвига без вертикальной нагрузки и при давлении 0,05 МПа. Рассчитывался коэффициент тиксотропного разупрочнения ($K_p = \tau_2/\tau_1$). Снижение прочности имеет место при $K_p < 1$; в ряде случаев происходит явление отрицательной дилатансии – уплотнение грунта и увеличение прочности ($K_p > 1$).

Реологические свойства глинистых грунтов исследовались на сдвиговом приборе ВСВ–25 с



Рис. 1. Общий вид котлована и его стенок, из которых были отобраны образцы верхней зоны разреза аллювиального комплекса

автоматической приставкой при постоянной скорости сдвига $1,5 \cdot 10^{-5}$ см/с и равномерном (автоматическом) повышении напряжения. Сдвиговые испытания проводились при отсутствии вертикальной нагрузки и при давлении 0,05 МПа. Возникновение ситуации, когда после достижения максимальной величины напряжения сдвига отмечается его снижение, позволяет говорить о релаксации напряжений в грунте и склонности его к ползучести.

Результаты и их обсуждение. Лабораторные исследования проводились для связных песков (ps^* – образ-

цы из бортов котлована и верхней зоны контрольной скважины), суглинков светло-коричневых (gln) и суглинков гумусированных (gln^*). Для указанных литологических разновидностей в качестве примера (данные для пяти образцов) представлены показатели микроструктуры, состава и некоторых свойств (табл. 1).

Микроструктура. Проведенные расчеты содержания микроструктурных параметров показали, что по количеству агрегатов (18,6–30,8%) все разновидности грунтов имеют смешанную (агрегированно-скелетную или скелетно-агрегированную) микроструктуру,



поэтому их реальная глинистость составляет 11,4–35,6%, при этом преобладают частицы < 0,001 мм, которые почти все находятся в агрегатах (коэффициент их свободы 0–2%). Наличие агрегатов в связных песках (это промежуточная разновидность между нормальными песками и супесями), определяет их особые свойства – пластичность и физико-химическую активность (см. табл. 1).

Как правильно назвать выделенные литологические разновидности грунтов с учетом их микроструктурных особенностей? Рекомендуется определять название по данным стандартной гранулометрии (М9), далее необходима информация о типе микроструктуры, реальной глинистости (общее содержание фракции < 0,002 мм в виде первичных частиц и в составе агрегатов – М8) и пластичности. Например, образец ШС–1,0 м – песок связный (М9=1,4%), микроструктура агрегированно-скелетная (А=21,7%), реальная глинистость (М8) составляет 17,5%, пластичность 3%; образец ШС–5,0 м – супесь (М9=8,3%), микроструктура скелетно-агрегированная (А=32,7%), реальная глинистость составляет 32,5%, пластичность 6%. Таким образом, в связном песке агрегированность способствует пластичности за счет резерва глинистой фракции в агрегатах; в гумусированной супеши, наоборот, происходит снижение пластичности по причине повышенного содержания агрегатов (реальная глинистость соответствует глине, число пластичности–супеши).

Результаты химического анализа водной, солянокислой и щелочной вытяжки грунтов. Водорастворимые соли составляют 0,12–0,33%, тип засоления карбонатно-сульфатный, в низах разреза – карбонатно-хлоридный, реакция среды кислая и нейтральная (рН=6,6–7,2). Слабое засоление характерно для современных аллювиальных отложений.

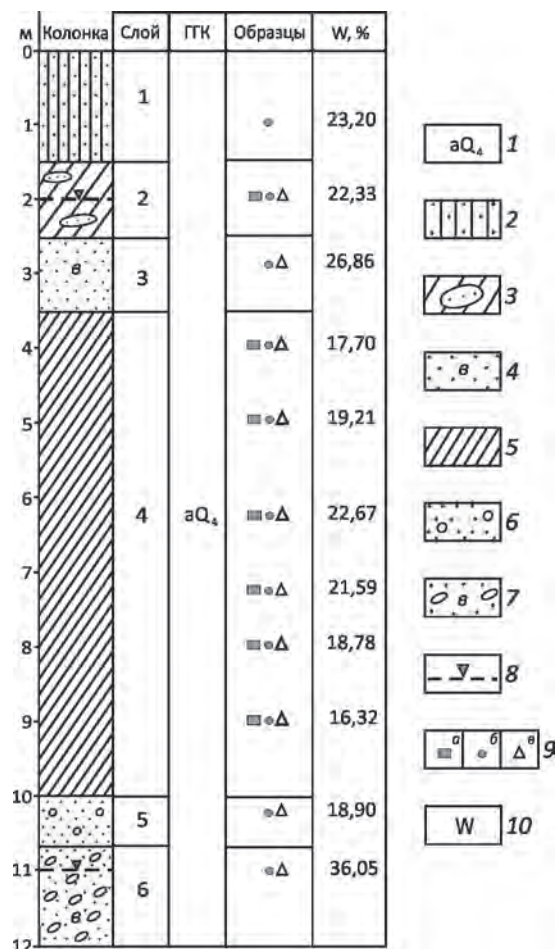


Рис. 2. Разрез (геолого-литологическая колонка) контрольной скважины ШС (строительная площадка, г. Шелехов):

геолого-генетические комплексы (ГГК): 1 – современный аллювиальный; литологические разновидности грунтов: 2 – связный песок, светло-коричневый, слабо ожеженный, 3 – суглинок с гнездами песка, светло-коричневый, карбонатный, 4 – песок разнозернистый, водонасыщенный (пльвун), 5 – суглинок темно-серый и черный, гумусированный, карбонатный, с недоразвитыми макропорами и макропорами-кавернами, с тонкими прослойками песка, 6 – песок разнозернистый, серый, с единичными включениями гравия, 7 – галечник с песчаным заполнителем, водонасыщенный; 8 – уровень залегания подземных вод; 9 – виды проб: а – монолит, б – проба нарушенной структуры, в – проба в бьюке для определения природной влажности; 10 – величина природной влажности (в %), определена по пробе в бьюке

Общее содержание карбонатов высокое (13,2–25,0 %), преобладают CaCO₃ и FeCO₃. Обогащение карбонатами связных песков, как и других литологических разновидностей аллювиальной толщи, вскрытой на площадке «Шелехов», является их особым признаком и определяется постдиагенетическими процессами.

1. Показатели микроструктуры, состава и некоторых свойств грунтов контрольной скважины (ШС) площадки «Шелехов»

Н, м	ЛР	A	M8	M9	S _{вр}	S _{кр}	Al ₂ O ₃ *	C _{орг}	I _p	ЕКО
1,0	ps*	21,7	15,0	1,0	0,21	10,4	0,85	0,96	3,9	17,8
2,0	gln	21,4	17,5	1,4	0,12	24,0	2,07	0,90	4,6	26,2
5,0	gln*	32,5	32,7	8,3	0,23	14,7	2,13	2,44	6,0	36,7
7,3	gln*	29,9	35,6	12,1	0,31	24,8	4,51	1,36	6,0	28,3
9,0	gln*	30,8	23,4	8,9	0,13	13,2	2,04	0,80	7,3	57,6

Примечание. Н – глубина образца; ЛР – литологические разновидности; А – общее количество агрегатов; М8 – реальная глинистость (общее содержание фракции <0,002 мм в свободном состоянии и в агрегатах); М9 – содержание фракции <0,02 мм по данным стандартного гранулометрического анализа; S_{вр}, S_{кр}, C_{орг}, Al₂O₃* – содержание водорастворимых солей, карбонатов, гумуса, подвижных форм алюминия; I_p – число пластичности (в %); ЕКО – ёмкость катионного обмена грунта, мг-экв на 100 г вещества.

По данным щелочной вытяжки в аллювиальных отложениях (за исключением связных песков) установлено повышенное содержание (2,04–5,39%) подвижных форм оксида алюминия (Al₂O₃*), которые исполняют роль компонентов, формирующих структурные связи в грунтах.

Содержание гумуса. Этот показатель оказался четким критерием: как и предполагалось, его содержание увеличилось в отложениях старичной фации (1,36–2,44%) по сравнению со связными песками и светло-коричневыми суглинками (0,84–1,00%).

Глинистые минералы. По данным рентгеноструктурного анализа (РСА), тонкоглинистая фракция (<0,001 мм) отложений старичной фации аллювия является полиминеральной (сметит, гидрослюда, хлорит, каолинит, смешанослойные минералы типа гидрослюда–

сметит, хлорит–сметит), поэтому не может существенно влиять на их свойства. Аналогичная ситуация отмечается в связных песках.

Физико-химические свойства. Ёмкость катионного обмена изменяется от 5,2 до 57,6 мг-экв. Зависимости ее величины от содержания гумуса не наблюдается (см. табл. 1). Возможно, высокие значения связаны с увеличением содержания сметита в некоторых образцах. По-видимому, определенное значение имеет агрегированность (активные в физико-химическом отношении тонкоглинистые фракции заключены в агрегаты и поэтому пассивны). Набухание (ε_{sw}) и усадка (V_y) определялись на пастах с влажностью 18,4–20,4 % и плотностью 2,20–2,40 г/см³ для образцов гумусированных суглинков и связного песка. Набухание практически отсутствует (0,2–1,9%), но усадка зафиксирована

2. Результаты экспериментальных исследований тиксотропных свойств гумусированных суглинков скважины (ШС)

Н, м	$\frac{\rho, \text{ г/см}^3}{\rho_d, \text{ г/см}^3}$	I _L	W, %	Сдвигающее усилие (τ), МПа				Коэффициент тиксотропного разупрочнения (K _p = τ ₂ /τ ₁)	
				до вибрации (τ ₁)		после вибрации (τ ₂)		(1)	(2)
				(1)**	(2)**	(1)	(2)		
2,0	$\frac{1,95}{1,59}$	-0,02	22,41	0,045	0,075	0,040	0,085	0,89	1,13
4,0	$\frac{2,00}{1,70}$	-0,18	17,40	0,060	0,095	0,055	0,110	0,92	1,16
5,0	$\frac{2,12}{1,78}$	-0,28	19,0	0,080	0,105	0,095	0,130	1,19	1,24
6,3	$\frac{2,06}{1,67}$	0,41	22,3	0,045	0,065	0,030	0,060	0,67	0,92
7,3	$\frac{2,10}{1,72}$	-0,03	21,8	0,075	0,105	0,085	0,135	1,13	1,29
8,0	$\frac{2,02}{1,69}$	0,44	19,6	0,050	0,080	0,045	0,105	0,90	1,31

Примечание. Н – глубина образца; ρ, ρ_d; W – природная плотность, плотность скелета, природная влажность грунта; I_L – показатель текучести (консистенции); (1)**, (2)** – сдвигающие усилия грунтов определялись при условии (1) – без вертикальной нагрузки и давления (2) – 0,05 МПа; коэффициенты тиксотропного разупрочнения рассчитаны также для двух вариантов (1, 2).

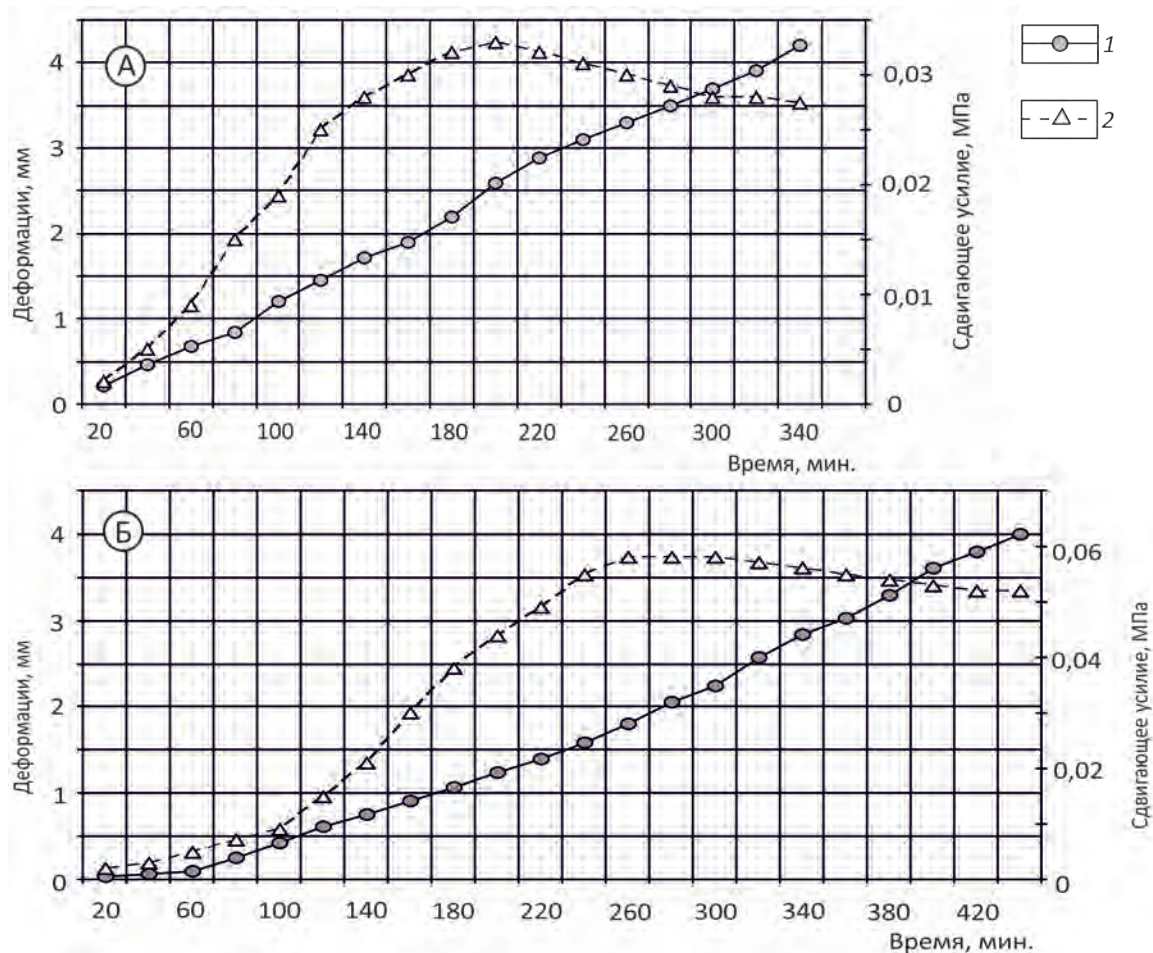


Рис. 3. Результаты исследования реологических свойств глинистых грунтов (обр. ШС–6,3) без вертикальной нагрузки (А) и при давлении 0,05 МПа (Б):

1 – деформация, мм; 2 – сдвигающее усилие, МПа

(11,4–20,6%). Таким образом, в очередной раз не установлена взаимосвязь между этими свойствами [1, 9].

Пределы и число пластичности определены для десяти образцов; все они, за исключением одного, оказались супесями ($I_p=3,0-6,9$). При пересчете числа пластичности по трем прогнозным формулам [8] совпадение экспериментальных и расчетных значений составило 70%. Следовательно, заниженная пластичность грунтов, которые при визуальном просмотре названы суглинками, определена их агрегированностью; в то же время наличие агрегатов в связанных песках с заключенными в них тонкоглинистыми частицами сделало их «аномально пластичными».

Размокание. Время размокания, которое отражает прочность (водостойкость) структурных связей, определялось на воздушно-сухих образцах ненарушенной структуры. Получены следующие результаты: связанные пески размокают мгновенно (3–55 секунд), суглинки

старичной фации – в пределах 3–6 минут. Влияют, по всей вероятности, содержание агрегатов и величина реальной глинистости – во втором случае этих компонентов значительно больше.

Экспериментальные исследования тиксотропно-реологических свойств. Снижение прочности грунтов старичной фации аллювия при вибрационных испытаниях установлено для четырех образцов (из шести) твердой и тугопластичной консистенции при условии быстрого сдвига без вертикальной нагрузки (табл. 2). При участии вертикальной нагрузки 0,05 МПа только один образец тугопластичной консистенции проявил тиксотропное разупрочнение, что, возможно, связано с повышенной природной плотностью ($>2,00$ г/см³) и агрегированностью.

Результаты эксперимента (исследовались два образца) по изучению реологических свойств представлены на графиках зависимости деформации и сдвигающего

усилия от времени деформирования грунта. В первом случае (обр. ШС–4,0 м) наличие ползучести, выражающейся в снижении максимального напряжения сдвига, отмечено только при условии отсутствия вертикальной нагрузки. Во втором случае (обр. ШС–6,3 м) уменьшение максимального напряжения сдвига наблюдается при различных условиях опыта – без вертикальной нагрузки и при давлении 0,05 МПа (рис. 3, А, Б).

Из материалов статьи можно сделать следующие выводы:

1. Обследование котлована и бурение контрольной скважины показали, что в пределах площадки залегают грунты современного аллювиального комплекса, в составе которого выделены шесть литологических разновидностей, в том числе связные пески и темно-серые суглинки (по визуальному определению) с особыми признаками.

2. Пльвинные пески в верхней части разреза, относительно мощная толща темно-серых суглинков старичной фации, склонных к тиксотропному разупрочнению и ползучести, и водонасыщенные галечники в низах разреза позволяют сделать вывод о необходимости укрепления фундамента. Следует также отметить, что результаты ранее проведенных изысканий не отличались высоким качеством (например, отсутствуют лабораторные определения прочностных и деформационных показателей глинистых грунтов, хотя отобрано по скважинам 90 монолитов), кроме того, не выполнена договоренность с руководителями ООО «Иркутскстройизыскания» о передаче из лаборатории этой организации результатов определения физико-механических свойств грунтов контрольной скважины.

3. Выделение в разрезе особой группы связных песков подтверждается присутствием в их составе агрегатов и карбонатов, а также повышенной реальной глинистостью, проявлением физико-химической активности и пластичности.

4. Особые признаки установлены для супесей старичной фации (к этой группе они относятся по стандартной гранулометрии и пластичности): высокая степень агрегированности, повышенное содержание гумуса и подвижных форм алюминия, сульфатный тип засоления, значительное содержание кальциевых и железистых карбонатов, отсутствие набухания и возможность усадки.

5. Экспериментальные исследования тиксотропного разупрочнения агрегированных грунтов твердой и тугопластичной консистенции (старичная фация аллювия) подтвердили возможность снижения их прочности при вибрационных воздействиях (напомним, что площадка находится в 9-балльной сейсмической зоне); эксперимент по изучению реологических свойств этих же образцов показал возможность проявления дефор-

маций ползучести – уменьшения прочности при длительном деформировании.

6. На основе результатов доизучения грунтовой толщи площадки «Шелехов» методом «контрольной скважины» установлены признаки, понижающие устойчивость грунтового основания, что подтверждает необходимость своевременной интеграции производственных и научных материалов для целей оптимизации инженерно-геологических изысканий.

Аналитические данные по составу глинистых минералов получены в Центре коллективного пользования Института земной коры СО РАН «Геодинамика и геохронология» (г. Иркутск).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вашестюк Ю.В., Ряценко Т.Г.* Взаимосвязи микроструктуры и свойств глинистых грунтов (опыт применения кластерного анализа) // *Сергеевские чтения*. Вып. 15. – М.: РУДН, 2013. С. 18–23.
2. *Лабораторные работы по грунтоведению: Учебное пособие* / Под ред. В.Т.Трофимова и В.А.Королева. – М.: Высшая школа, 2008.
3. *Лёссовые грунты Монголо-Сибирского региона* / Т.Г.Ряценко, В.В.Акулова, Н.Н.Ухова и др. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2014.
4. *Ломтадзе В.Д.* Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. – Л.: Недра, 1990.
5. *Методические рекомендации по определению физико-химических свойств почв и грунтов при инженерно-геологических и почвенно-мелиоративных изысканиях* / Под ред. Л.И.Кульчицкого. – М.: Союзводпроект, 1977.
6. *Осипов В.И., Еремина О.Н.* Предисловие // *Сергеевские чтения*. Вып. 12. – М.: РУДН, 2010. С. 5–6.
7. *Проблемы инженерно-геологических изысканий в г. Ханты-Мансийск* / И.В.Абатурова, О.Н.Грязнов, И.А.Савинцев и др. // *Сергеевские чтения*. Вып. 12. – М.: РУДН, 2010. С. 7–11.
8. *Расчетные формулы определения числа пластичности глинистых и лёссовых грунтов по пределу текучести: возможности применения* / Т.Г.Ряценко, С.А.Тирских, Ю.В.Вашестюк и др. // *Известия Сибирского отделения секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений*. 2015. № 3 (52). С. 78–85.
9. *Ряценко Т.Г.* Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2010.
10. *Ряценко Т.Г., Ухова Н.Н.* Химический состав дисперсных грунтов: возможности и прогнозы (Восточная Сибирь). – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2008.
11. *Сергеевские чтения*. Научное обоснование актуализации нормативных документов инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий. Вып. 12. – М.: РУДН, 2010.
12. *Сергеевские чтения*. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций. Вып. 17. – М.: РУДН, 2015.